



**TUGAS AKHIR – SM141501**

**IDENTIFIKASI PARAMETER MODEL MATEMATIKA  
PADA PENGGERAK *PROTOTYPE* PANEL SURYA**

**SEGA BAGUS PRANDITA  
1212100014**

**Dosen Pembimbing :**

- 1. Dr. Dra. Mardlijah, MT**
- 2. Noorman Rinanto, ST., MT**

**JURUSAN MATEMATIKA  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**FINAL PROJECT– SM141501**

***MATHEMATICAL MODEL'S PARAMETERS IDENTIFICATION  
IN A PROTOTYPE OF SOLAR PANEL'S MOTOR***

**SEGA BAGUS PRANDITA  
1212100014**

**Supervisor :**

- 1. Dr. Dra. Mardlijah, MT**
- 2. Noorman Rinanto, ST., MT**

**DEPARTMENT OF MATHEMATICS  
Faculty of Mathematics and Natural Sciences  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**LEMBAR PENGESAHAN**

**IDENTIFIKASI PARAMETER MODEL MATEMATIKA PADA  
PENGGERAK *PROTOTYPE* PANEL SURYA**

***MATHEMATICAL MODEL'S PARAMETERS IDENTIFICATION  
IN A PROTOTYPE OF SOLAR PANEL'S MOTOR***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
Memperoleh gelar Sarjana Sains  
Pada bidang minat Matematika Terapan  
Program Studi S-1 Jurusan Matematika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :


**SEGA BAGUS PRANDITA**

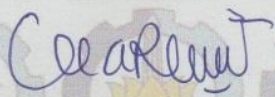
**NRP. 1212 100 014**

Menyetujui,


Pembimbing II,

Pembimbing I,

  
**Noorman Rinanto, ST., MT**  
**NIP. 19761014 201212 1 002**

  
**Dr. Dra. Mardijah, MT**  
**NIP. 19670114 199102 2 001**

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Matematika  
**FMIPA-ITS**

  
**Dr. Imam Mukhlash, S.SI. M.T**  
**NIP. 19700831 199403 1 003**  
**Surabaya, 2017**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## IDENTIFIKASI PARAMETER MODEL MATEMATIKA PADA PENGGERAK *PROTOTYPE* PANEL SURYA

Nama : Sega Bagus Prandita  
NRP : 1212100014  
Jurusan : Matematika FMIPA-ITS  
Pembimbing : 1. Dr. Dra. Mardlijah, MT  
2. Noorman Rinanto, ST., MT

### Abstrak

Panel Surya dapat melakukan konversi energi yang optimal ketika posisi panel surya berada tegak lurus terhadap matahari, sehingga perlu adanya sebuah inovasi yaitu *solar tracker*. *Solar tracker* membutuhkan penggerak agar panel surya dapat menjejak matahari. Tugas akhir ini meneliti penggerak sebuah *prototype* panel surya yaitu motor DC. Penelitian dilakukan dengan mengidentifikasi nilai parameter pada model matematika motor DC. Identifikasi dilakukan pada parameter tahanan kumparan jangkar ( $R_a$ ), induktansi kumparan jangkar ( $L_a$ ), konstanta emf balik ( $K_b$ ), konstanta torsi ( $K_m$ ), momen inersia rotor ( $J$ ), dan koefisien gesekan viskos ( $B$ ). Selanjutnya, simulasi dilakukan pada model matematika motor DC dengan parameter hasil identifikasi. Simulasi dilakukan sebanyak 4 kali dengan kombinasi pada konstanta emf balik dan konstanta torsi. Hasil simulasi sistem berupa kecepatan sudut dibandingkan dengan kecepatan sudut hasil eksperimen secara langsung. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa pada simulasi ketiga memiliki nilai terbaik dengan tingkat kepercayaan pada *absolute average relative deviation* sebesar 97,317587123 %.

**Kata kunci:** *Solar Tracker, Model Matematika Motor DC, Absolute Average Relative Deviation*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



***MATHEMATICAL MODEL'S PARAMETERS  
IDENTIFICATION IN A PROTOTYPE OF SOLAR PANEL'S  
MOTOR***

Name : Sega Bagus Prandita  
NRP : 1212100014  
Department : Matematika FMIPA-ITS  
Supervisor : 1. Dr. Dra. Mardlijah, MT  
2. Noorman Rinanto, ST., MT

**Abstract**

Solar panel can optimally convert energy when its position is upright to the sun, thus the innovation of solar tracker is much needed. Solar tracker needs a motor so that the solar tracker is able to track the sun. This research studies a motor of solar panel prototype called motor DC. This research identify parameter value of motor DC mathematic model. Identification is performed on resistance ( $R_a$ ), inductance ( $L_a$ ), back emf constant ( $K_b$ ), torque constant ( $K_m$ ), rotor inertia (J), coefficient of viscous friction (B). Furthermore, simulation is applied to motor DC mathematic model with the identified parameter. Simulation is repeated 4 times with combinations of back emf constant and torque constant. Result of the simulation system is angular velocity. Then, angular velocity from simulation compared to the result of angular velocity from the experiment. Comparison indicates that the third simulation shows the best value with the confidence level of absolute average relative deviation of 97,317587123%.

**Keywords:** Solar Tracker, Mathematic Model of DC Motor, Absolute Average Relative Deviation

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'aalamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah memberikan limpahan rahmat, taufik serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul

### **“IDENTIFIKASI PARAMETER MODEL MATEMATIKA PADA PENGGERAK *PROTOTYPE* PANEL SURYA ”**

Sholawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu Alaihi Wasallam. Dengan rasa syukur akhirnya Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik berkat kerja sama, bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Sehubungan dengan hal itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Bapak Dr. Imam Mukhlash, S.Si, MT selaku Ketua Jurusan Matematika ITS.
2. Ibu Dr. Dra. Mardlijah, MT dan Bapak Noorman Rinanto, ST., MT selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan kepada penulis dengan baik dan sabar. Terima kasih atas segala bimbingan dan motivasinya kepada penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
3. Bapak Imam Abadi, ST, MT dan Bapak Hendro Nurhadi, Dipl.ing.PhD yang telah memberikan arahan dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini, sehingga proses pengerjaan Tugas Akhir ini dapat berjalan dengan baik.
4. Bapak Dr. Didik Khusnul Arif, S.Si.,M.Si selaku Kaprodi S1 Jurusan Matematika ITS dan Bapak Drs. Iis Herisman, M.Sc selaku Sekretaris Kaprodi S1 Jurusan Matematika ITS.
5. Bapak Dr. Chairul Imron, MI.Komp, Ibu Dra. Wahyu Fistia Doctorina, M.Si dan Ibu Tahiyatul Asfihani, S.Si, M.Si yang telah memberikan masukan demi kebaikan Tugas Akhir ini.

6. Bapak Drs. Soetrisno, MI.Komp. selaku Dosen Wali yang memberikan arahan dan semangat selama penulis menempuh pendidikan di Jurusan Matematika ITS.
7. Bapak dan Ibu dosen serta seluruh staf Tata Usaha dan Laboratorium Jurusan Matematika ITS yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.
8. Keluarga tercinta terutama Ayah Haryono, Ibu Sunarti dan adik Bella yang senantiasa menyematkan doa untuk penulis, serta menjadi motivasi terbesar dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Keluarga saya Matematika ITS 2012 yang senantiasa memberikan semangat dan dukungannya untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
10. Keluarga MAT12IKS yang telah memberi warna dan wahana belajar saya selama menjadi mahasiswa sehingga saya menemukan capaian - capaian baru dalam diri saya.
11. Keluarga Himatika ITS yang menjadi tempat saya bernaung untuk memperoleh pelajaran baru dalam kehidupan saya.
12. Sahabat – sahabat saya yang selalu bersedia menjadi tempat berkeluh kesah dan selalu memberikan dorongan pada diri saya.
13. Semua pihak yang tak dapat penulis sebutkan satu-persatu, terima kasih telah membantu sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik dari pembaca. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat.

Surabaya, 19 Januari 2017

**Penulis**

## DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK .....	vii
<i>ABSTRACT</i> .....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
DAFTAR SIMBOL .....	xix
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan .....	3
1.5 Manfaat .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Pengertian Sistem .....	6
2.3 Sistem Panel Surya .....	7
2.4 Model Matematika.....	7
2.5 Alat Uji Parameter .....	9
2.5.1 Power Supply .....	9
2.5.2 LCR Meter .....	9
2.5.3 Avometer.....	9

2.5.4 Tachometer .....	9
2.5.5 CNC Milling .....	10
2.6 Absolute Average Relative Deviation (AARD) .....	10
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Tahapan Penelitian .....	13
3.1.1 Studi Literatur .....	13
3.1.2 Uji Parameter .....	13
3.1.3 Analisis Model Matematika .....	15
3.1.4 Simulasi dan Validasi.....	15
3.2 Diagram Alir Metode Penelitian.....	16
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Uji Parameter.....	17
4.2 Analisis Model Matematika.....	21
4.3 Simulasi dan Validasi .....	23
4.3.1 Simulasi.....	24
4.3.2 Validasi .....	33
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran .....	39
DAFTAR PUSTAKA.....	41
LAMPIRAN .....	43
BIODATA PENULIS.....	87

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Panel Surya .....	7
Gambar 2.2 Model Motor DC .....	8
Gambar 3.1 Skema pengujian induktansi dan resistensi .....	13
Gambar 3.2 Skema pengujian $K_m$ dan $K_b$ .....	14
Gambar 3.3 Skema eksperimen kecepatan sudut.....	15
Gambar 3.4 Diagram Alir Metode Penelitian.....	16
Gambar 4.1 Data Pertama Putaran dan Voltase .....	19
Gambar 4.2 Data Kedua Putaran dan Voltase .....	19
Gambar 4.3 $K_b$ Pengambilan Data Pertama.....	20
Gambar 4.4 $K_b$ Pengambilan Data Kedua .....	20
Gambar 4.5 Output Simulasi Pertama .....	25
Gambar 4.6 Output Simulasi Kedua.....	26
Gambar 4.7 Output Simulasi Ketiga.....	27
Gambar 4.8 Output Simulasi Keempat.....	28
Gambar 4.9 Perbandingan Simulasi Input 4 Volt.....	29
Gambar 4.10 Perbandingan simulasi input 5 volt.....	29
Gambar 4.11 Perbandingan Simulasi Input 6 Volt.....	30
Gambar 4.12 Perbandingan Simulasi Input 7 Volt.....	30
Gambar 4.13 Perbandingan Simulasi Input 8 Volt.....	30
Gambar 4.14 Perbandingan Simulasi Input 9 Volt.....	31
Gambar 4.15 Perbandingan Simulasi Input 10 Volt.....	31
Gambar 4.16 Perbandingan Simulasi Input 11 Volt.....	31
Gambar 4.17 Perbandingan Simulasi Input 12 Volt.....	32
Gambar 4.18 Perbandingan Simulasi Input 13 Volt.....	32

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Parameter simulasi pertama.....	24
Tabel 4.2 Parameter simulasi kedua.....	26
Tabel 4.3 Parameter simulasi ketiga.....	27
Tabel 4.4 Parameter simulasi keempat .....	28
Tabel 4.5 Kecepatan Sudut Simulasi.....	33
Tabel 4.6 Hasil Eksperimen Kecepatan Sudut .....	34
Tabel 4.7 AARD simulasi pertama.....	35
Tabel 4.8 AARD simulasi kedua.....	35
Tabel 4.9 AARD simulasi ketiga.....	36
Tabel 4.10 AARD simulasi keempat.....	36

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR SIMBOL

$e_a(t)$	Besarnya tegangan yang diberikan pada motor (volt)
$e_b(t)$	Emf balik (volt)
$i_a(t)$	Arus jangkar (Ampere)
$R_a(t)$	Tahanan kumparan jangkar (Ohm)
$L_a(t)$	Induktansi kumparan jangkar (Henry)
$K_b$	Konstanta emf balik (Volt-sec/rad)
$K_m$	Konstanta Torsi (N-m/Ampere)
$J$	Momen Inersia rotor (Kg – m <sup>2</sup> )
$B$	Koefisien gesekan viskos (N-m/rad/sec)
$T_m(t)$	Torsi Motor (N-m)
$\omega(t)$	Kecepatan sudut motor (rad/sec)

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **DAFTAR LAMPIRAN**

LAMPIRAN A Data Induktansi dan Resistensi Motor DC.....	43
LAMPIRAN B Konstanta Torsi dan Konstatnta EMF Balik .....	45
LAMPIRAN C Simulink dan Source code GUI.....	49
LAMPIRAN D Data hasil simulasi dengan simulink.....	61
LAMPIRAN E Absolute Average Relative Deviation (AARD)	81
LAMPIRAN F Data Kecepatan Sudut Eksperimen .....	85

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

Pada bab ini dijelaskan berbagai hal yang menjadi latar belakang munculnya permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini. Kemudian permasalahan tersebut disusun kedalam suatu rumusan masalah. Selanjutnya dijabarkan juga batasan masalah untuk mendapatkan tujuan yang diinginkan serta manfaat yang dapat diperoleh. Adapun sistematika penulisan diuraikan pada bagian akhir bab ini

#### **1.1 Latar Belakang**

Kebutuhan energi dunia terus mengalami peningkatan, menurut Badan Energi Dunia (International Energy Agency), hingga tahun 2030 permintaan energi dunia akan meningkat sebesar 45% atau sekitar 1,6% per tahun dan sekitar 80% kebutuhan energi dunia dipasok dari bahan bakar fosil, hal ini akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dunia. Berdasarkan hal tersebut, maka untuk mengantisipasi kelangkaan sumber energi di masa mendatang maka perlu adanya pengembangan sumber energi alternatif.

Energi Alternatif adalah istilah yang merujuk pada semua energi yang dapat digunakan untuk menggantikan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui, Berbagai sumber energi yang dapat diperbaharui adalah energi biomassa, energi surya, gas alam, dan panas bumi.

Salah satu sumber energi yang memiliki potensi di Indonesia adalah energi matahari, hal ini dikarenakan Indonesia adalah daerah tropis. Energi Matahari di bumi Indonesia memiliki intensitas antara 0,6 – 0,7 kw/ m<sup>2</sup> dimana energi matahari ini dapat dikonversi menjadi listrik dengan menggunakan sel surya.

Sel surya memiliki bermacam performansi yang mana direpresentasikan dengan efisiensi. Efisiensi dari sel surya sering dijadikan sebagai acuan untuk menilai kualitas dari sel surya. Efisiensi sel surya didefinisikan sebagai rasio output energy sel surya terhadap input energy yang berasal dari matahari.

Dalam penerapannya, hingga saat ini peningkatan energi yang telah dicapai oleh PV selama pengujian dengan simulasi adalah 59.82 %, sedangkan raihan eksperimen adalah 60.42%, hal ini dinyatakan oleh Imam Abadi pada penelitiannya yang berjudul kombinasi *dual tracking method* pada penjejak matahari dua sumbu dengan kontrol logika fuzzy berbasis *particle swarm optimization* [1]. Menurut Minto-rogo ada enam faktor pengoperasian dari panel surya, yaitu ambient air temperature yaitu 25<sup>0</sup> C, radiasi solar matahari, kecepatan angin yang bertiup, keadaan atmosfir bumi, orientasi panel surya, dan posisi sudut letak panel surya [2]. Faktor terakhir memiliki efek yang besar terhadap besar energi yang diperoleh, posisi tegak lurus panel surya terhadap matahari akan memberikan energi 1000 w/m<sup>2</sup>. Fakta ini menjelaskan bahwa studi mengenai kontrol posisi panel surya memiliki urgensi yang cukup tinggi untuk terus dikembangkan.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk meninjau perihal posisi panel surya, salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Yahya Efprianto yang membahas perancangan dan simulasi sistem pengendali panel surya dengan metode type 2 fuzzy sliding mode control (T2FSMC). Pada penelitian tersebut disimpulkan bahwa kendali T2FSMC yang diterapkan pada sistem penggerak panel surya bekerja *robust* dengan berbagai gangguan.

Dalam pengembangan penelitian mengenai posisi panel surya, saat ini telah terdapat sebuah *prototype* panel surya yang mampu menjejak matahari. Sehingga, penggerak dari panel surya menjadi suatu bagian yang vital. Untuk melakukan desain kontrol posisi maka perlu adanya pendekatan matematis pada penggerak panel surya. Tugas Akhir ini akan membahas identifikasi parameter pada model matematika sehingga model tersebut dapat merepresentasikan penggerak panel surya, dengan harapan pada model matematika ini, nantinya dapat didesain sebuah kontrol posisi yang sesuai dengan kondisi *prototype*.



## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang maka permasalahan yang akan dibahas dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana mengidentifikasi nilai parameter pada model matematika penggerak *prototype* panel surya ?
2. Bagaimana simulasi model matematika dengan hasil identifikasi parameter pada penggerak *prototype* panel surya?

## 1.3 Batasan Masalah

Ruang lingkup permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini antara lain :

1. Model matematika yang digunakan merujuk pada tugas akhir Yahya Efprianto pada tahun 2015.
2. Prototype yang digunakan pada penelitian ini merupakan penelitian dosen

## 1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan permasalahan, maka tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan solusi dari permasalahan yang ada. Oleh karena itu, tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh nilai parameter pada model matematika penggerak *prototype* matematika
2. Memperoleh hasil simulasi model matematika dan parameter yang representatif terhadap penggerak *prototype* panel surya.

## 1.5 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari tugas akhir ini adalah memperoleh model matematika beserta parameter yang representatif terhadap penggerak *prototype* panel surya, sehingga dengan adanya model yang merepresentasikan penggerak *prototype* panel surya, diharapkan dapat dikembangkan desain kontrol yang sesuai untuk peningkatan performansi panel surya tersebut

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam laporan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

### 1. BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan mengenai pendahuluan pada penelitian yang berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan.

### 2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tinjauan pustaka yang digunakan pada penelitian. Tinjauan pustaka yang digunakan adalah penelitian terdahulu, pengertian sistem, sistem panel surya, model matematika, alat uji parameter, dan *Absolute Average Relative Deviation*

### 3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan mengenai tahapan-tahapan yang digunakan pada penelitian. Tahapan tersebut diuraikan menjadi studi literatur, uji parameter, analisis model matematika, simulasi dan validasi.

### 4. BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai hasil pengujian yang merupakan nilai parameter dari model matematika penggerak *prototype* panel surya, selanjutnya dijelaskan mengenai analisis model matematika. Pembahasan diakhiri dengan simulasi dan validasi terhadap model matematika penggerak *prototype* panel surya.

### 5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan tentang penarikan kesimpulan yang diperoleh dari pembahasan masalah pada bab sebelumnya serta saran yang diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai beberapa penelitian terdahulu, pengertian sistem, sistem panel surya, model matematika penggerak panel surya yaitu motor DC, Alat uji parameter, dan *Absolute Average Relative Deviation*.

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Penelitian mengenai performansi panel surya beberapa kali telah dilakukan. Pada tahun 2010, Wawan Ismanto melakukan penelitian yang berjudul Perancangan dan Simulasi Kontrol Posisi Panel Surya dengan Menggunakan Metode Fuzzy Sliding Mode Control (FSMC), dalam penelitian ini menyatakan bahwa pengendali FSMC bekerja dengan baik terhadap gangguan internal maupun eksternal [5].

Selanjutnya pada tahun 2015, Yahya Efprianto melakukan penelitian yang berjudul Perancangan dan Simulasi Sistem Pengendali Panel Surya dengan Metode Type 2 Fuzzy Sliding Mode Control (T2FSMC), Penelitian memperoleh hasil bahwa performansi sistem kendali T2FSMC memiliki kelebihan yaitu bekerja lebih *robust* terhadap gangguan internal maupun eksternal yang bernilai besar maupun kecil jika dibandingkan dengan pengendali FSMC dan SMC [6].

Pada tahun 2016, Imam Abadi melakukan penelitian yang berjudul Kombinasi Dual Tracking Method Pada Penjejak Matahari Dua Sumbu Dengan Kontrol Logika Fuzzy Berbasis Particle Swarm Optimization. Pada penelitian ini, Peningkatan efisiensi energi yang dicapai oleh PV selama pengujian dengan simulasi adalah 59,82%, sedangkan raihan eksperimen adalah 60,42 % [1]. Berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Wawan Ismanto dan Yahya Efprianto, parameter motor DC yang digunakan sebagai aktuatuor pada plant berdasarkan spesifikasi alat dan eksperimen uji laboratorium.

## 2.2 Pengertian Sistem

Sistem adalah kombinasi dari beberapa komponen yang bekerja bersama-sama dan melakukan sasaran tertentu. Interaksi diantara sistem dan sekitar sistem direalisasikan lewat besaran, yang sangat sering adalah fungsi waktu yang dinamakan masukan (input) dan keluaran (output). Masukan dan keluaran sistem yang disajikan oleh signal atau fungsi dari waktu bisa merupakan waktu diskrit atau kontinu. Hal ini berkaitan dengan apa yang dinamakan sebagai sistem diskrit dan sistem kontinu. Menganalisis proses fisis atau mendesainnya dikatakan sebagai sistem fisis, dalam hal ini hubungan masukan dan keluaran sistem disajikan dalam model matematika. Model matematika biasanya berbentuk persamaan differensial untuk sistem kontinu dan persamaan beda untuk sistem diskrit.

Pembentukan suatu model matematika sering membutuhkan asumsi tentang sifat dasar proses fisis seperti halnya dalam perekonomian diasumsikan bahwa laju permintaan mempunyai pengaruh pada keluaran dalam hal ini adalah perilaku infestasi. Dalam berbagai bidang kajian, suatu phenomena tidak dikaji secara langsung melainkan lewat suatu model dari phenomena. Suatu model adalah suatu penyajian yang sering dalam matematika, penyajian tersebut dirasa penting untuk waktu mendatang bagi kajian obyek atau sistem. Dengan memanipulasi penyajian tersebut diharapkan pengetahuan baru tentang phenomena yang telah dimodelkan tadi dapat diperoleh tanpa bahaya, biaya atau ketidaknyamanan dalam pemanipulasian phenomena real itu sendiri. Dalam matematika sistem pembahasan hanya berkerja dengan model dan saat berbicara suatu sistem diartikan suatu versi model dari sistem sebagai bagian dari realita.

Penekanan makna sistem yang dikaji adalah perilaku dinamik dari phenomena, yaitu bagaimana karakteristik keadaan mendatang (seperti masukan dan keluaran) berubah sesuai dengan berubahnya waktu dan apa hubunganya yang juga sebagai fungsi dari waktu [4]. Satu dari hal tersebut adalah bila mencoba untuk

mendesain sistem kontrol sedemikian hingga suatu perilaku yang diharapkan bisa tercapai .

### 2.3 Sistem Panel Surya

Prinsip kerja dari sistem panel surya ini adalah bagaimana mengatur agar posisi dari piringan pengumpul sinar matahari selalu mengikuti posisi matahari sehingga permukaan piring pengumpul matahari selalu berada pada kondisi tegak lurus terhadap posisi matahari, hal ini dikarenakan ketika piringan pengumpul matahari berada tegak lurus maka akan diperoleh energi maksimum sekitar  $1000 \text{ W/ m}^2$  [2]. Pada penelitian ini sistem panel surya yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 2.1



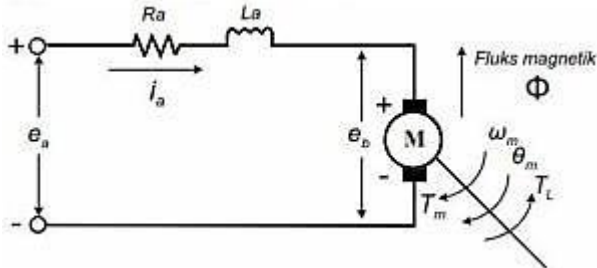
Gambar 2.1 Sistem Panel Surya [11]

### 2.4 Model Matematika

Model Matematika yang digunakan pada penelitian ini adalah model matematika Motor DC. Hal ini dikarenakan pada prototype panel surya menggunakan penggerak berupa motor DC.

Motor DC merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mampu mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik yang merupakan keluaran dari motor DC telah banyak digunakan dalam berbagai kebutuhan.. Motor DC membutuhkan

suplai tegangan searah yang selanjutnya dikonversi menjadi energi mekanik. Skema Motor DC disajikan pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Model Motor DC

Dari gambar diatas maka dapat diperoleh persamaan dibawah ini [6].

$$e_a(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + e_b(t)$$

$$e_b(t) = K_b \omega(t)$$

$$T_m(t) = K_m i_a(t)$$

$$T_m(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t)$$

Dengan :

$e_a(t)$  :Besarnya tegangan yang diberikan pada motor (volt)

$e_b(t)$  : emf balik (volt)

$i_a(t)$  : Arus jangkar (Ampere)

$R_a(t)$  : Tahanan kumparan jangkar (Ohm)

$L_a(t)$  : Induktansi kumparan jangkar (Henry)

$K_b$  : Konstanta emf balik (Volt-sec/rad)

$K_m$  : Konstanta Torsi (N-m/Ampere)

$J$  : Momen Inersia rotor (Kg – m<sup>2</sup>)

$B$  : Koefisien gesekan viskos (N-m/rad/sec)

$T_m(t)$  : Torsi Motor (N-m)

$\omega(t)$  : Kecepatan sudut motor (rad/sec)

## **2.5 Alat Uji Parameter**

Pada bagian ini akan dijelaskan beberapa alat uji yang digunakan sebagai perangkat untuk memperoleh nilai dari parameter yang diperlukan. Alat uji yang digunakan adalah Power Supply, LCR meter, Avometer, Tachometer, dan CNC milling.

### **2.5.1 Power Supply**

Power Supply adalah perangkat keras yang berguna sebagai pemberi tegangan listrik langsung pada komponen yang memerlukan tegangan. Input daya power supply berupa arus bolak balik atau AC, maka power supply harus mengubah tegangan menjadi arus searah atau DC. Dalam penelitian ini power supply digunakan sebagai penyuplai tegangan motor DC dengan beberapa variasi tegangan yang dibutuhkan.

### **2.5.2 LCR Meter**

LCR meter adalah sebuah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengukur induktansi (L), kapasitansi (C), dan resistensi (R) dari suatu komponen. Prinsip kerja dari alat ini adalah mengukur impedansi secara internal dan dikonversikan ke kapasitansi atau nilai induktansi yang sesuai. Dalam penelitian ini LCR meter digunakan untuk mengukur induktansi dan resistensi

### **2.5.3 Avometer**

Avometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur arus, tegangan bolak – balik (AC) maupun tegangan searah (DC) dan hambatan listrik, Avometer sering disebut juga sebagai multimeter. Avometer memberikan kemudahan dalam pekerjaan elektronika karena mampu menyelesaikan permasalahan dengan mudah dan cepat.

Berdasarkan prinsip penggunaanya Avometer terdiri dari avometer analog dan avometer digital. Dalam penelitian ini avometer digunakan untuk mengukur tegangan yang dikeluarkan oleh motor DC pada saat diberikan input putaran dari alat CNC Milling.

### **2.5.4 Tachometer**

Tachometer adalah sebuah alat pengujian yang dirancang untuk mengukur kecepatan rotasi dari sebuah objek. Kata tachometer berasal dari kata Yunani, tachos yang berarti

kecepatan dan metron yang berarti untuk mengukur. Saat ini tachometer telah berkembang dengan sistem digital dan memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi dibanding dengan pendahulunya yang berupa dial dan jarum.

Prinsip kerja dari alat ini adalah dari inputan data yang berupa putaran diubah oleh sensor sebagai suatu nilai frekuensi, kemudian berupa frekuensi tersebut dimasukan ke dalam rangkaian *to voltage converter* yang hasil keluaranya berupa tegangan yang kemudian digunakan untuk menggerakkan jarum pada tachometer analog atau dimasukan ke analog *to digital converter* pada tachometer digital untuk diubah menjadi data digital dan ditampilkan pada display. Dalam penelitian ini tachometer digunakan untuk mengukur kecepatan sudut dari Motor DC.

### **2.5.5 CNC Milling**

*Computer Numerical Control* (CNC) merupakan suatu sistem otomasi mesin perkakas yang dioperasikan oleh perintah yang diprogram dan disimpan pada media penyimpanan, hal ini berbeda dengan kondisi sebelumnya dimana mesin perkakas biasanya dikontrol dengan putaran tangan atau otomatisasi sederhana. Kata NC adalah singkatan dari Numerical Control. Mesin NC pertama kali diciptakan pada tahun 1940 hingga 1950 dengan memodifikasi mesin perkakas biasa. Mesin perkakas ditambahkan dengan motor yang menggerakkan pengontrol mengikuti titik-titik yang dimasukan kedalam sistem oleh perekam kertas. Mesin perpaduan antara servo motor dan mekanis ini segera digantikan dengan sistem analog dan kemudian komputer digital yang selanjutnya mesin modern tersebut disebut sebagai CNC. Pada penelitian ini CNC berperan untuk memberikan input kecepatan pada motor DC yang sedang diuji.

### **2.6 Absolute Average Relative Deviation (AARD)**

Nilai keluaran sistem motor DC berupa kecepatan sudut yang diperoleh dengan cara manual dan model matematika akan diuji nilai akuasinya dengan menggunakan *Absolute Average Relative*



*Deviation* (AARD). Formula perhitungan akurasi dengan model matematika diberikan sebagai berikut [9].

$$ARD = ABS \left| \frac{calculated - eksperimen}{calculated} \right| \times 100\%$$

$$AARD = \frac{\sum_i^N ARD}{N}, \text{ dengan } N \text{ adalah jumlah eksperimen}$$

Hasil perhitungan yang baik memiliki tingkat kepercayaan diatas 95% dengan taraf signifikansi  $AARD < 5\%$

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan langkah-langkah sistematis yang digunakan dalam penyelesaian masalah pada Tugas Akhir. Metode penelitian dalam tugas akhir ini terdiri dari empat tahap yaitu studi literatur, uji parameter, analisis model matematika, simulasi dan validasi.

#### **3.1 Tahapan Penelitian**

Dalam Tugas Akhir ini dilakukan beberapa tahapan untuk menyelesaikan permasalahan yang diuraikan sebagai berikut.

##### **3.1.1 Studi Literatur**

Pada tahap ini dilakukan pengkajian lebih dalam terhadap permasalahan pada Tugas Akhir melalui literasi yang ada. Selain itu penulis juga melakukan konsultasi kepada beberapa narasumber untuk memperdalam permasalahan dan cara melakukan uji parameter pada model matematika Motor DC.

##### **3.1.2 Uji Parameter**

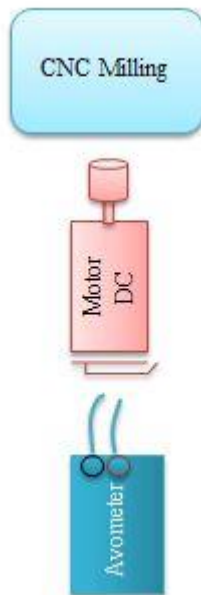
Setelah melakukan studi literasi maka dilakukan proses untuk uji parameter pada Motor DC. Parameter yang diuji adalah Induktansi, Resistensi, Konstanta Torsi, Konstanta EMF balik. Sedangkan untuk momen inersia dan koefisien gesekan viskos didapat dengan pendekatan melalui spesifikasi yang serupa dengan Motor DC yang digunakan sebagai penggerak panel surya. Pengujian pada Induktansi dan Resistensi dilakukan dengan menggunakan alat uji berupa LCR meter dengan skema yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema pengujian induktansi dan resistensi  
Dari skema diatas menunjukkan bahwa pengujian pada induktansi dan resistensi dilakukan dengan menghubungkan kedua kabel positif negatif. Pada saat pengukuran induktansi maka pada LCR meter dilakukan pengaturan untuk

Induktansi dan pada saat pengujian resistensi maka perlu mengubah pengaturan menjadi pengukuran resistensi. Hasil pengukuran resistensi dan induktansi dapat dilihat pada *display* LCR Meter.

Selanjutnya adalah pengujian untuk memperoleh parameter konstanta torsi dan emf balik. Alat uji yang digunakan pada proses ini adalah mesin CNC Milling dan Avometer. Skema pengujian ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Skema pengujian  $K_m$  dan  $K_B$

Pada gambar diatas CNC Milling berfungsi sebagai input kecepatan sudut pada motor DC sesuai kebutuhan dengan batasan 3000 RPM. Setelah motor DC berputar maka energi mekanik akan dikonversi menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan diukur menggunakan Avometer. Selanjutnya, pada parameter momen inersia dan koefisien gesekan viskos diperoleh dengan menggunakan pendekatan spesifikasi pada Motor DC yang sedang diuji.

### 3.1.3 Analisis Model Matematika

Pada tahap ini akan dilakukan penyelesaian terhadap model matematika motor DC sehingga didapatkan sebuah persamaan yang menyatakan output dari sistem yaitu kecepatan sudut dari motor DC. Selanjutnya, hasil dari penyelesaian model matematika disimulasikan dengan simulink MATLAB.

### 3.1.4 Simulasi dan Validasi

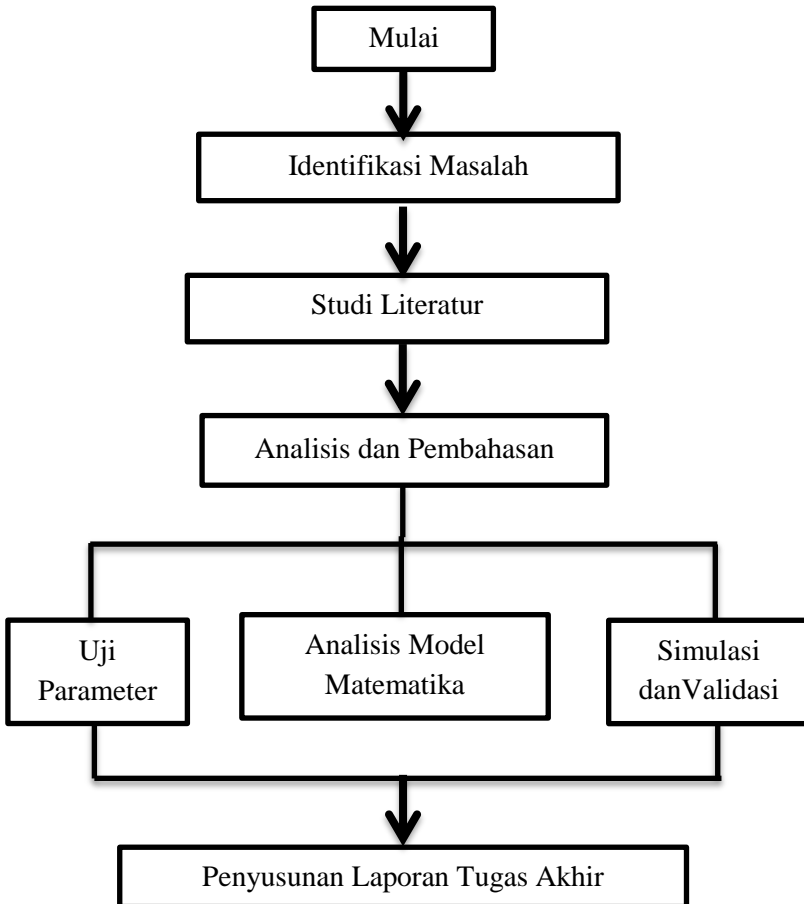
Pada tahap ini dilakukan simulasi sistem motor DC dengan menggunakan simulink, dimana *output* yang dihasilkan adalah kecepatan sudut dari motor DC. Hasil simulasi berdasarkan model matematika dan parameternya akan dibandingkan dengan keluaran kecepatan sudut motor DC yang berdasarkan pada eksperimen secara langsung. Skema eksperimen kecepatan motor DC dijelaskan pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Skema Eksperimen Kecepatan Sudut  
Selanjutnya perbandingan hasil simulasi dan eksperimen dihitung dengan menggunakan *Absolute Average Relative Deviation* (AARD).

### 3.2 Diagram Alir Metode Penelitian

Secara umum tahapan-tahapan yang dilakukan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini ditampilkan dalam diagram alir penelitian pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Diagram Alir Metode Penelitian

## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dibahas mengenai identifikasi parameter dari model matematika penggerak *prototype* panel surya yaitu motor DC yang meliputi tahanan kumparan jangkar, Induktansi kumparan jangkar, konstanta emf balik, konstanta torsi, momen inersia dan koefisien gesekan viskos. Setelah mendapatkan parameter tersebut, maka dilakukan analisis model matematika, lalu simulasi dilakukan sebagai cara untuk validasi terhadap model matematika motor DC

#### 4.1 Uji Parameter

Uji parameter ini dilakukan pada Motor DC Hosiden 21,6 V 0,6 A. Motor DC tipe tersebut adalah motor yang digunakan sebagai penggerak pada *prototype* panel surya. Proses pengujian parameter pada model matematika motor dilakukan secara eksperimental. Resistensi dan induktansi pada motor DC diuji dengan menggunakan LCR meter.

LCR meter merupakan sebuah alat uji elektronik yang digunakan untuk mengukur *Inductance* (L), *Capacitance* (C), dan *Resistance* (R) dari komponen. Pada penelitian ini induktansi dan resistensi dapat diperoleh dengan pengukuran langsung dengan skema yang telah digambarkan pada Gambar 3.1, untuk memperoleh data yang lebih valid maka pengukuran dilakukan sebanyak masing masing 50 kali. Data pengujian induktansi dan resistensi terlampir pada Lampiran A. Dari pengukuran sebanyak 50 kali menggunakan LCR meter maka didapatkan nilai dari masing-masing parameter yang merupakan rata-rata dari 50 data yaitu resistensi 18, 2214 dan induktansi 0, 00866.

Pengujian parameter selanjutnya adalah konstanta Torsi ( $K_m$ ) dan konstanta emf balik. ( $K_b$ ). Pada kondisi ideal, nilai antara konstanta torsi dan konstanta emf balik memiliki nilai yang sama [1]. Pada proses pengujian kedua parameter tersebut, fungsi motor dialihkan menjadi generator dimana energi mekanik di konversi menjadi energi listrik. Alat uji

yang digunakan pada penelitian ini adalah mesin CNC Milling dan Avometer. Pada mekanisme pengujian, mesin CNC Milling digunakan sebagai input kecepatan sudut motor DC, lalu generator mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Keluaran Energi listrik yang dihasilkan oleh generator diukur dengan menggunakan Avometer. Skema pengujian ditunjukkan pada Gambar 3.2.

Pada tahap pengujian konstanta torsi dan konstanta emf balik, input kecepatan putaran yang diberikan adalah 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400, 2600, 2800, 3000 (dalam satuan RPM). Namun berdasar sensor pada CNC Milling menunjukkan putaran aktual pada motor DC yang sedang diuji yaitu 179, 359, 540, 719, 899, 1079, 1259, 1439, 1619, 1799, 1979, 2159, 2339, 2519, 2699 (dalam satuan RPM). Sehingga dalam memperoleh konstanta emf balik dan konstanta torsi data putaran yang digunakan adalah data putaran aktual.

Selanjutnya, pada masing - masing input diukur keluaran tegangan yang dihasilkan dengan menggunakan Avometer. Data tegangan yang diperoleh pada penelitian ini adalah data tegangan minimum dan maksimum yang merupakan hasil konversi putaran dari masing-masing input. Lalu untuk memperoleh konstanta torsi dan konstanta emf balik mengacu pada rumus yang digunakan untuk memperoleh konstanta emf balik yaitu dengan membagi voltase hasil konversi dengan input kecepatan sudut [1]. Rumus ditunjukkan pada Persamaan 4.1

$$K_b = \frac{\text{Tegangan (volt)}}{\text{Kecepatan Sudut } (\frac{\text{rad}}{\text{sec}})} \quad (4.1)$$

Pada input yang diberikan, putaran bernilai satuan RPM sehingga perlu dikonversi dalam radian/second yang ditunjukkan oleh Persamaan 4.2

$$1 \text{ RPM} = \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ second}} = 0,104719755 \frac{\text{radian}}{\text{second}} \quad (4.2)$$

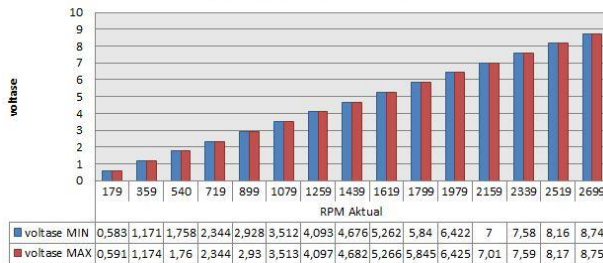
Konversi dapat dilakukan dengan mengalikan kecepatan sudut dengan 0,104719755. Pada penelitian ini, pengujian untuk mengidentifikasi parameter konstanta torsi dan konstanta emf balik dilakukan sebanyak dua kali untuk setiap



input putaran. Hal ini dikarenakan putaran yang terlalu banyak pada motor akan menyebabkan *brush* pada motor menjadi habis dan mempengaruhi kecepatan sudut yang dihasilkan. Sehingga ketika *brush* semakin habis maka kecepatan sudut juga akan semakin kecil.

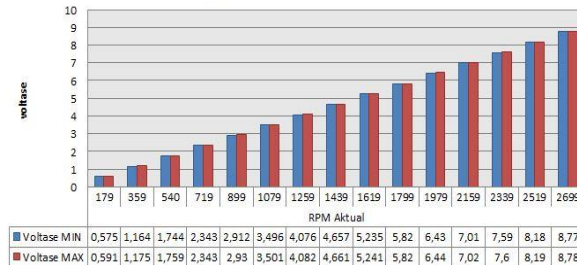
Berdasarkan pada pengujian yang telah dilakukan, maka diperoleh data input kecepatan sudut oleh CNC Milling dan konversi voltase yang disajikan pada Gambar 4.1 dan 4.2

**Pengambilan Data Pertama**



**Gambar 4.1 Data Pertama Putaran dan Voltase**

**Pengambilan Data Kedua**



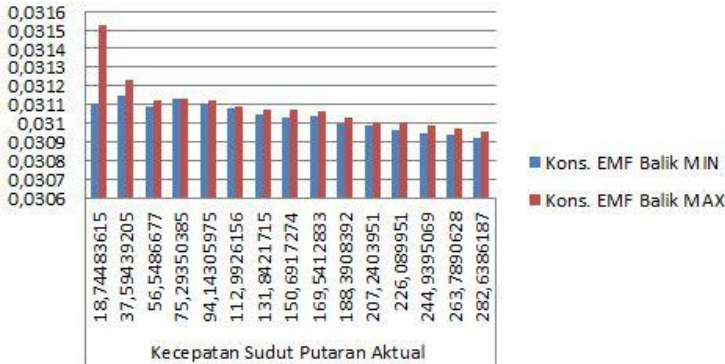
**Gambar 4.2 Data Kedua Putaran dan Voltase**

Pada Gambar 4.1 dan 4.2 warna biru dan merah menunjukkan nilai voltase yang dihasilkan pada masing masing input kecepatan putaran, warna biru adalah voltase minimal dan merah adalah voltase maksimal.

Setelah memperoleh data input kecepatan putaran dan voltase yang dihasilkan, maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai konstanta emf balik sesuai dengan Persamaan 4.1. Pada perhitungan nilai parameter ini,

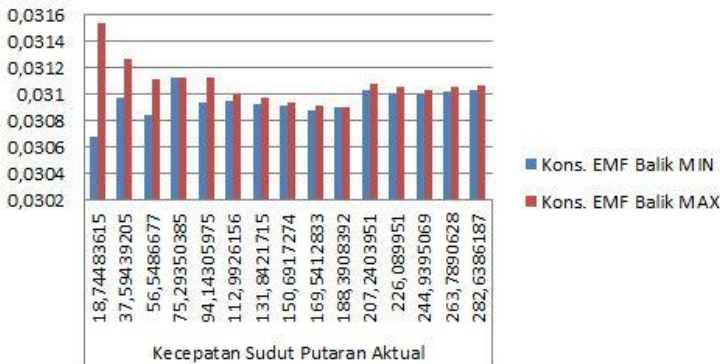
kecepatan sudut dengan satuan RPM harus dikonversi terlebih dahulu ke radian/second. Hasil perhitungan konstanta emf balik ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan 4.4

### Pengambilan Pertama



Gambar 4.3  $K_b$  Pengambilan Data Pertama

### Pengambilan Kedua



Gambar 4.4  $K_b$  Pengambilan Data Kedua

Gambar 4.3 dan 4.4 menunjukkan nilai konstanta emf balik pada setiap input kecepatan sudut pada saat pengujian (data terlampir pada Lampiran B). Setelah memperoleh nilai masing-masing, maka kita dapat memperoleh rata-rata yang digunakan sebagai nilai parameter yang valid. Karena pada kondisi ideal nilai konstanta torsi dan konstanta emf balik

memiliki nilai yang sama, sehingga dapat diperoleh nilai konstanta torsi dan nilai konstanta emf balik adalah 0.031034441, 0.031092118, 0.030941093, 0.031071821.

Langkah Selanjutnya adalah menentukan nilai parameter momen inersia dan koefisien gesekan viskos. Momen inersia dan koefisien gesekan viskos diperoleh dengan mengacu pada spesifikasi yang mendekati dengan motor yang sedang diuji [10]. Berdasarkan pada nilai acuan tersebut maka diperoleh nilai 0.000090 untuk momen inersia rotor dan koefisien gesekan viskos sebesar 0.000025.

## 4.2 Analisis Model Matematika

Analisis model matematika dilakukan dengan melakukan substitusi persamaan pada sistem motor DC yang berfungsi sebagai penggerak panel surya[6]. Analisis model matematika dilakukan karena adanya kebutuhan untuk melakukan simulasi dengan Simulink MATLAB. Analisis model matematika pada panel surya akan dijelaskan sebagai berikut.

$$e_a(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + e_b(t) \quad (4.3)$$

$$e_b(t) = K_b \omega(t) \quad (4.4)$$

$$T_m(t) = K_m i_a(t) \quad (4.5)$$

$$T_m(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t) \quad (4.6)$$

Dengan :

$e_a(t)$  : Besarnya tegangan yang diberikan pada motor (volt)

$e_b(t)$  : emf balik (volt)

$i_a(t)$  : Arus jangkar (Ampere)

$R_a(t)$  : Tahanan kumparan jangkar (Ohm)

$L_a(t)$  : Induktansi kumparan jangkar (Henry)

$K_b$  : Konstanta emf balik (Volt-sec/rad)

$K_m$  : Konstanta Torsi (N-m/Ampere)

$J$  : Momen Inersia rotor (Kg – m<sup>2</sup>)

$B$  : Koefisien gesekan viskos (N-m/rad/sec)

$T_m(t)$  : Torsi Motor (N-m)

$\omega(t)$  : Kecepatan sudut motor (rad/sec)

dari model matematika diatas maka diperoleh [12],

$$e_a(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + e_b(t)$$

Dengan  $\omega(t) = \frac{d\theta}{dt}$  dan  $e_b(t) = K_b \omega(t)$ , maka

$$e_a(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + K_b \omega(t)$$

$$e_a(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + K_b \frac{d\theta}{dt}$$

$$L_a \frac{di_a(t)}{dt} = e_a(t) - R_a i_a(t) - K_b \frac{d\theta}{dt}$$

Sehingga

$$\frac{di_a(t)}{dt} = \frac{1}{L_a} \left( e_a(t) - R_a i_a(t) - K_b \frac{d\theta}{dt} \right) \quad (4.7)$$

dan

$$\int \frac{di_a(t)}{dt} = i_a \quad (4.8)$$

Selanjutnya didapatkan persamaan sebagai berikut

$$T_m(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t)$$

Dengan  $\omega(t) = \frac{d\theta}{dt}$  dan  $T_m(t) = K_m i_a(t)$ , maka

$$K_m i_a(t) = J \frac{d^2\theta}{dt^2} + B \frac{d\theta}{dt}$$

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} = K_m i_a(t) + B \frac{d\theta}{dt}$$

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{1}{J} \left( K_m i_a(t) + B \frac{d\theta}{dt} \right) \quad (4.9)$$

$$\int \frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{d\theta}{dt} = \omega \quad (4.10)$$

Sehingga dalam proses analisis model matematika diatas didapatkan dua persamaan yang menyatakan sistem dengan tinjauan elektris dan tinjauan mekanis dari sistem yang ditunjukkan pada Persamaan 4.7 dan Persamaan 4.9.

### 4.3 Simulasi dan Validasi

Pada tahap ini akan dilakukan simulasi terhadap persamaan yang telah diperoleh pada tahap analisis model matematika. Simulasi dilakukan pada tinjauan elektris dan tinjauan mekanis yang tertera pada Persamaan 4.7 dan Persamaan 4.9. Simulasi yang dilakukan menggunakan Simulink MATLAB .

Simulasi dilakukan dengan memberikan kombinasi pada 4 kemungkinan konstanta torsi dan konstanta emf balik. Hal ini dikarenakan pengujian konstanta torsi dan konstanta emf balik dilakukan sebanyak 2 kali dengan perolehan data voltase minimum dan maksimum pada setiap input kecepatan putaran.

Proses pengujian dilakukan sebanyak 2 kali karena putaran dari motor mempengaruhi *brush*, sehingga ketika putaran dilakukan terus menerus, *brush* akan menjadi habis dan kecepatan motor akan mengalami penurunan. Sedangkan pengujian pada parameter Induktansi kumparan jangkar dan tahanan kumparan jangkar dilakukan sebanyak 50 kali. Dengan mengacu pada perbandingan pengujian ini, maka kombinasi yang relevan dilakukan adalah kombinasi pada parameter konstanta torsi dan konstanta emf balik. Kombinasi ini dilakukan sebagai sarana untuk membandingkan parameter yang paling representatif terhadap kecepatan sudut motor DC yang sesuai dengan hasil eksperimen.

Simulasi dilakukan dengan memberikan input voltase yang variatif yaitu 4V, 5V, 6V, 7V, 8V, 9V, 10V, 11V, 12V, 13 V. Simulasi dilakukan dimulai pada 4 Volt karena motor penggerak panel surya mulai berputar secara stabil pada saat diberikan input 4 Volt. Sedangkan terbatas pada 13 Volt karena ketika motor DC diberikan input diatas 13 Volt maka

timbul getaran yang keras pada saat proses pengujian, sehingga data yang diperoleh cenderung tidak valid.

Validasi dilakukan dengan membandingkan *output* simulasi dengan hasil eksperimen dari sistem. Selanjutnya, hasil simulasi sistem dihitung akurasi dengan *Average Absolute Relative Deviation* (AARD) untuk memperoleh tingkat kepercayaan pada model matematika dan paramaternya.

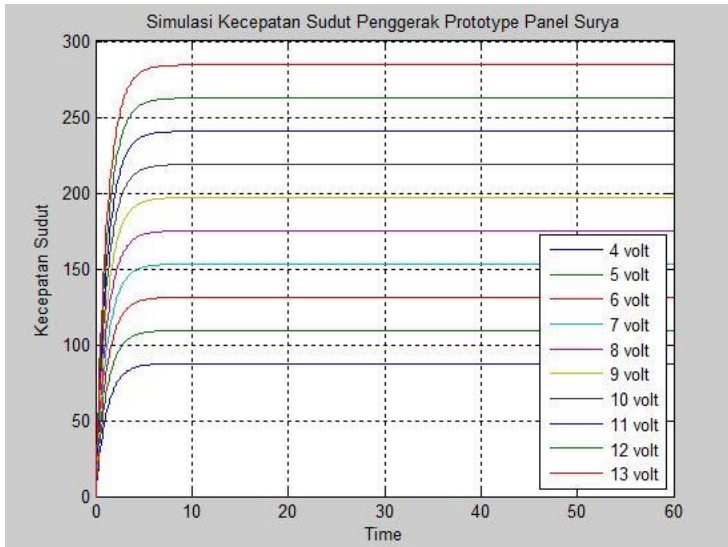
#### 4.3.1 Simulasi

Pada simulasi ini diberikan nilai parameter sesuai dengan proses eksperimen yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya. Kombinasi pertama diberikan pada konstanta emf balik dan konstanta torsi dengan nilai sebesar 0.031034441. Nilai parameter pada simulasi pertama diberikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Parameter simulasi pertama

Parameter	Nilai
Tahanan kumparan jangkar ( $R_a$ ). (Ohm)	18.2214
Induktansi kumparan jangkar ( $L_a$ ). (Henry)	0.00866
Konstanta emf balik ( $K_b$ ) (Volt-sec/rad)	0.031034441
Konstanta torsi ( $K_m$ ) (N-m/Ampere)	0.031034441
Momen Inersia rotor (J). (Kg- $m^2$ )	0.000090
Koefisien gesekan Viskos (B). (N-m/rad/sec)	0.000025

hasil simulasi dengan menggunakan nilai parameter diatas ditunjukkan pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Output Simulasi Pertama

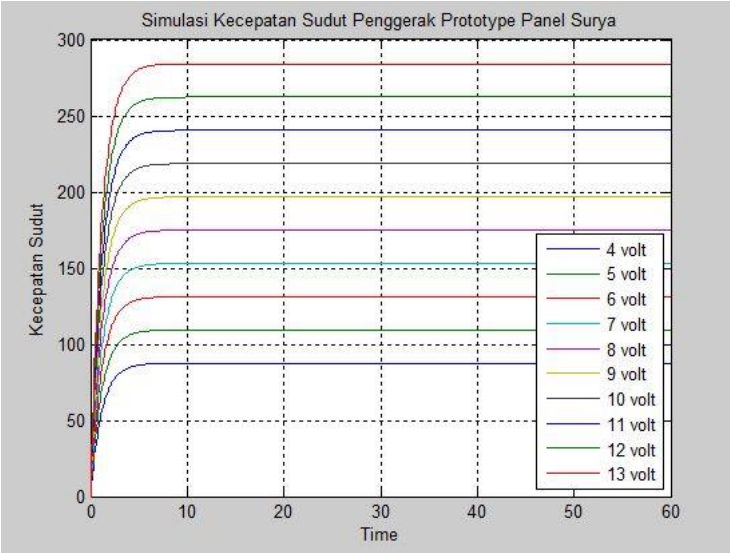
Gambar 4.5 menunjukkan perbandingan keluaran kecepatan sudut pada variasi input voltase. Gambar 4.5 menunjukkan bahwa input voltase yang diberikan berbanding lurus dengan keluaran sistem, yaitu semakin besar input yang diberikan pada sistem penggerak prototype panel surya maka nilai dari kecepatan sudut juga semakin besar.

Selanjutnya simulasi kedua dilakukan dengan melakukan perubahan nilai parameter konstanta emf balik dan konstanta torsi sebesar 0.031092118 sedangkan nilai tahanan kumparan jangkar, induktansi kumparan jangkar, momen inersia dan koefisien gesekan viskos sama dengan simulasi sebelumnya. Nilai parameter pada simulasi kedua ditunjukkan pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Parameter simulasi kedua

Parameter	Nilai
Tahanan kumparan jangkar ( $R_a$ ). (Ohm)	18.2214
Induktansi kumparan jangkar( $L_a$ ). (Henry)	0.00866
Konstanta emf balik ( $K_b$ ) (Volt-sec/rad)	0.031092118
Konstanta torsi ( $K_m$ ) (N-m/Ampere)	0.031092118
Momen Inersia rotor (J). (Kg- $m^2$ )	0.000090
Koefisien gesekan Viskos (B). (N-m/rad/sec)	0.000025

Hasil simulasi dengan menggunakan nilai parameter pada Tabel 4.2 ditunjukkan pada Gambar 4.6



Gambar 4.6 Output Simulasi Kedua

Selanjutnya simulasi ketiga dilakukan dengan mengubah nilai konstanta emf balik dan konstanta torsi sebesar 0.030941093.

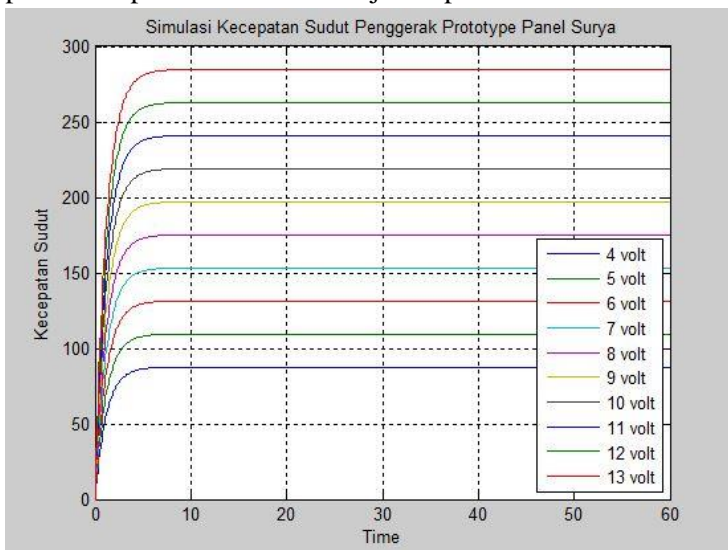


Nilai parameter pada simulasi ketiga ditunjukkan pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Parameter simulasi ketiga

Parameter	Nilai
Tahanan kumparan jangkar ( $R_a$ ). (Ohm)	18.2214
Induktansi kumparan jangkar ( $L_a$ ). (Henry)	0.00866
Konstanta emf balik ( $K_b$ ) (Volt-sec/rad)	0.030941093
Konstanta torsi ( $K_m$ ) (N-m/Ampere)	0.030941093
Momen Inersia rotor (J). (Kg- $m^2$ )	0.000090
Koefisien gesekan Viskos (B). (N-m/rad/sec)	0.000025

Hasil keluaran simulasi ketiga dengan menggunakan nilai parameter pada Tabel 4.3 ditunjukkan pada Gambar 4.7



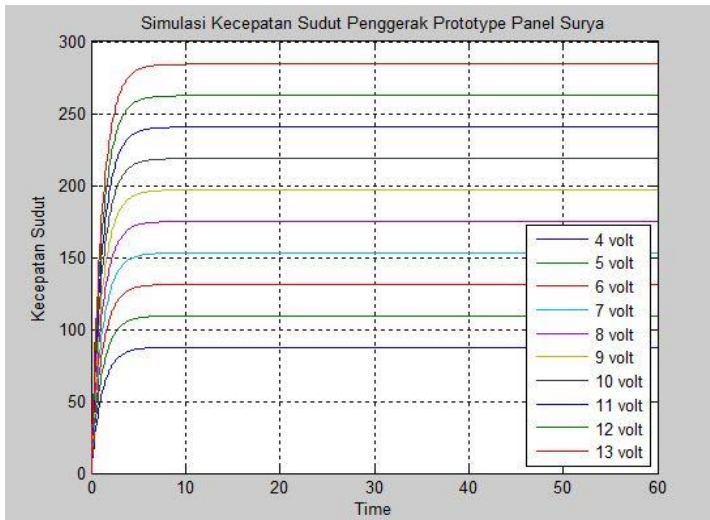
Gambar 4.7 Output Simulasi Ketiga

Simulasi keempat diberikan dengan mengubah nilai parameter konstanta torsi dan kosntanta emf balik sebesar 0.031071821 yang ditunjukkan pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Parameter simulasi keempat

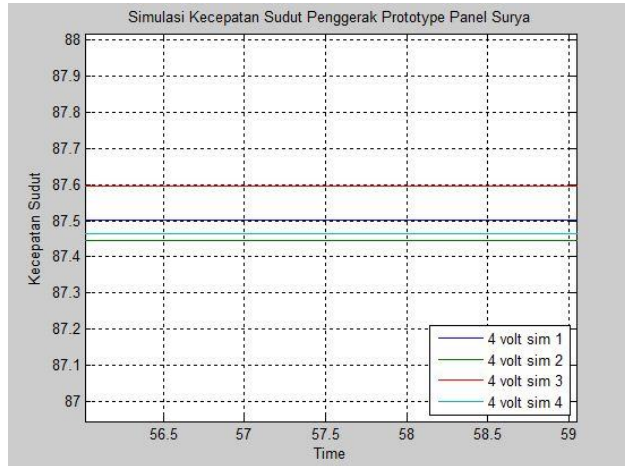
Parameter	Nilai
Tahanan kumparan jangkar ( $R_a$ ). (Ohm)	18.2214
Induktansi kumparan jangkar( $L_a$ ). (Henry)	0.00866
Konstanta emf balik ( $K_b$ ) (Volt-sec/rad)	0.031071821
Konstanta torsi ( $K_m$ ) (N-m/Ampere)	0.031071821
Momen Inersia rotor (J). (Kg- $m^2$ )	0.000090
Koefisien gesekan Viskos (B). (N-m/rad/sec)	0.000025

Hasil keluaran simulasi keempat ditunjukkan pada Gambar 4.8



Gambar 4.8 Output Simulasi Keempat

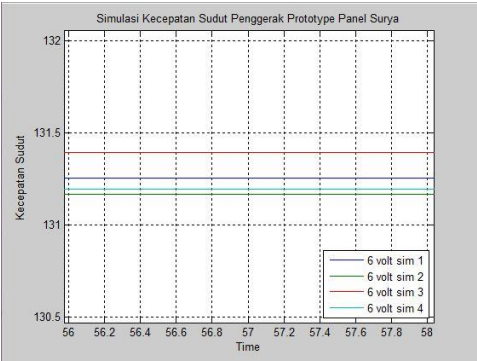
Selanjutnya untuk mempermudah menunjukan perubahan keluaran dengan 4 kombinasi nilai parameter yang berbeda, maka dilakukan simulasi perbandingan keluaran dari setiap nilai parameter pada satu input voltase yang ditunjukkan pada gambar berikut.



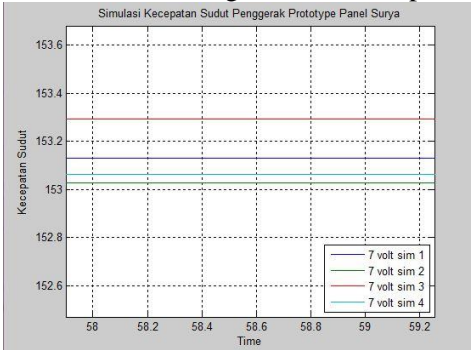
Gambar 4.9 Perbandingan Simulasi Input 4 Volt



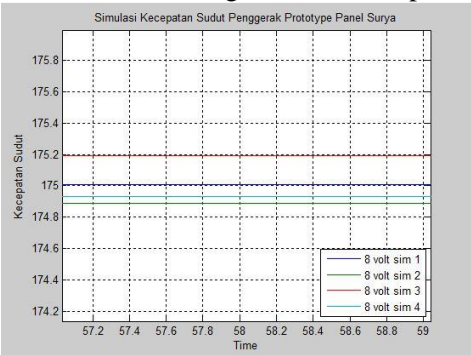
Gambar 4.10 Perbandingan simulasi input 5 volt



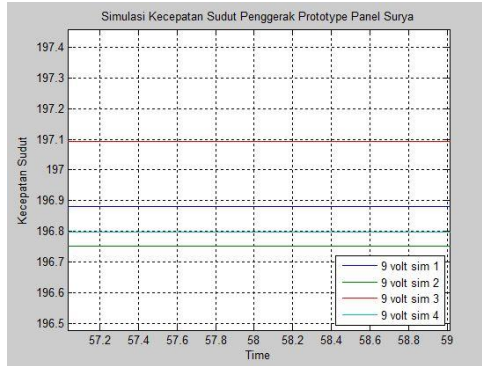
Gambar 4.11 Perbandingan Simulasi Input 6 Volt



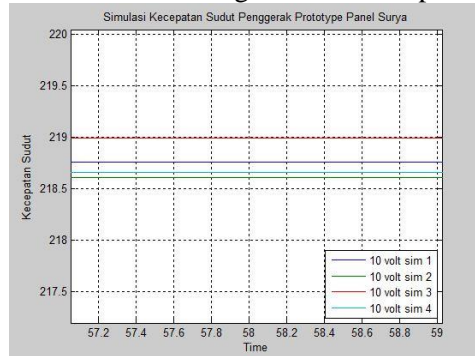
Gambar 4.12 Perbandingan Simulasi Input 7 Volt



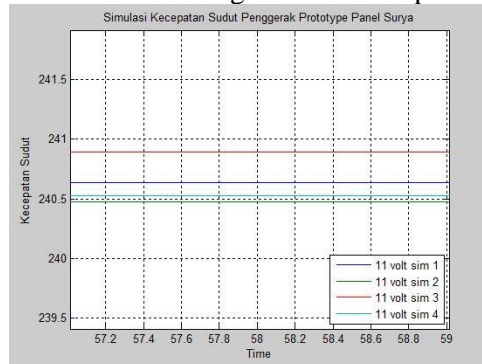
Gambar 4.13 Perbandingan Simulasi Input 8 Volt



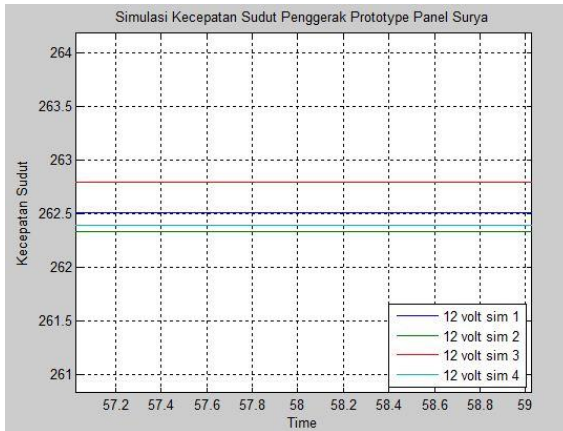
Gambar 4.14 Perbandingan Simulasi Input 9 Volt



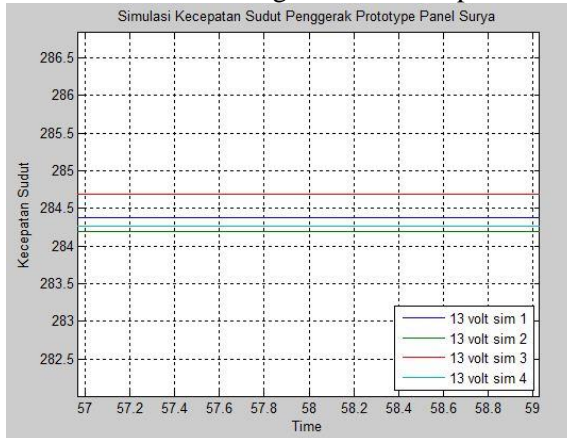
Gambar 4.15 Perbandingan Simulasi Input 10 Volt



Gambar 4.16 Perbandingan Simulasi Input 11 Volt



Gambar 4.17 Perbandingan Simulasi Input 12 Volt



Gambar 4.18 Perbandingan Simulasi Input 13 Volt

Gambar 4.9 hingga 4.18 menunjukkan dalam setiap input voltase, perubahan nilai parameter memberikan pengaruh terhadap keluaran sistem yaitu kecepatan sudut. Perbandingan yang ditunjukkan adalah ketika masing masing keluaran menunjukkan kondisi *steady state*. Data keluaran sistem dapat dilihat pada Lampiran D. Selanjutnya, nilai kecepatan sudut pada hasil simulasi ditunjukkan pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Kecepatan Sudut Simulasi

V	Kecepatan Sudut Hasil Simulasi (rad/sec)			
	Simulasi 1	Simulasi 2	Simulasi 3	Simulasi 4
4	87,5028	87,4446	87,5969	87,4651
5	109,3786	109,3058	109,4961	109,3314
6	131,2542	131,1669	131,3953	131,1976
7	153,13	153,028	153,2945	153,0639
8	175,0057	174,8892	175,1937	174,9302
9	196,8814	196,7503	197,0929	196,7965
10	218,7571	218,6115	218,9921	218,6627
11	240,6328	240,4727	240,8914	240,5291
12	262,5085	262,3338	262,7906	262,3954
13	284,3842	284,195	284,6898	284,2616

#### 4.3.2 Validasi

Pada tahap ini dilakukan validasi keluaran kecepatan sudut pada hasil simulasi dengan hasil eksperimen secara langsung. Eksperimen dilakukan dengan memberikan *coupling* antara motor DC dan tachometer sehingga motor DC dan tachometer terhubung. Setelah itu diberikan input voltase pada penggerak *prototype* panel surya yaitu motor DC.

Input voltase yang diberikan pada eksperimen adalah 4 volt, 5 volt, 6 volt, 7 volt, 8 volt, 9 volt, 10 volt, 11 volt, 12 volt, 13 volt. Pada masing - masing input, keluaran kecepatan sudut ditampilkan pada tachometer. Setelah itu data keluaran kecepatan sudut harus dikonversi dalam bentuk radian/second. Skema eksperimen ditunjukkan pada Gambar 3.3. Data kecepatan sudut eksperimen merupakan rata-rata dari 5 kali pengambilan data pada setiap input voltase. Data terlampir pada Lampiran F. hasil eksperimen pada kecepatan sudut motor DC ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Eksperimen Kecepatan Sudut

Voltase	Kecepatan sudut (rad/sec)
4	87,19804559
5	107,0864215
6	131,6746199
7	160,0955614
8	185,3958543
9	204,5595694
10	222,6341991
11	233,7763811
12	256,2911284
13	276,6695927

Setelah memperoleh nilai kecepatan sudut berdasarkan dari hasil empat kali percobaan simulasi maka diperoleh keluaran kecepatan sudut yang berbeda sesuai dengan parameter dan input voltase yang telah diberikan. Langkah selanjutnya adalah melakukan validasi dengan melihat tingkat akurasi pendekatan secara matematis dari model matematika dan parameter dari Motor DC. Tingkat akurasi dari model matematika dan parameter dilakukan dengan memperoleh tingkat kepercayaan melalui *Absolute Average Relative Deviation* (AARD). Pada masing-masing kecepatan dihitung nilai *Absolute Average Relative Deviation* (perhitungan terdapat pada Lampiran E). Setelah melakukan perhitungan maka dapat diperoleh tingkat kepercayaan dari masing-masing parameter dan model matematika motor DC. Hasil *Absolute Average Relative Deviation* ditunjukkan pada Tabel 4.7 hingga Tabel 4.10.



Tabel 4.7 AARD simulasi pertama

V	omega Motor DC	Omega Simulasi pertama	ARD (%)
4	87,19804559	87,5028	0,348279605
5	107,0864215	109,3786	2,095637115
6	131,6746199	131,2542	0,320309702
7	160,0955614	153,13	4,548789554
8	185,3958543	175,0057	5,937037623
9	204,5595694	196,8814	3,899895783
10	222,6341991	218,7571	1,772330649
11	233,7763811	240,6328	2,849328495
12	256,2911284	262,5085	2,368445827
13	276,6695927	284,3842	2,712741175
AARD (%)			2,685279553

Tabel 4.8 AARD simulasi kedua

V	omega Motor DC	Omega Simulasi kedua	ARD (%)
4	87,19804559	87,4446	0.281954982
5	107,0864215	109,3058	2,030430715
6	131,6746199	131,1669	0,387079314
7	160,0955614	153,028	4,618475994
8	185,3958543	174,8892	6,007606103
9	204,5595694	196,7503	3,96912707
10	222,6341991	218,6115	1,840113228
11	233,7763811	240,4727	2,784648294
12	256,2911284	262,3338	2,303428538
13	276,6695927	284,195	2,647973149
AARD (%)			2,687083739

Tabel 4.9 AARD simulasi ketiga

V	omega Motor DC	Omega Simulasi ketiga	ARD (%)
4	87,19804559	87,5969	0,455329363
5	107,0864215	109,4961	2,20069805
6	131,6746199	131,3953	0,212579854
7	160,0955614	153,2945	4,436598472
8	185,3958543	175,1937	5,823356806
9	204,5595694	197,0929	3,788401011
10	222,6341991	218,9921	1,663118957
11	233,7763811	240,8914	2,953620984
12	256,2911284	262,7906	2,473251179
13	276,6695927	284,6898	2,817174093
AARD (%)			2,682412877

Tabel 4.10 AARD simulasi keempat

V	omega Motor DC	Omega Simulasi keempat	ARD (%)
4	87,19804559	87,4651	0,305326818
5	107,0864215	109,3314	2,053370337
6	131,6746199	131,1976	0,36358892
7	160,0955614	153,0639	4,593938508
8	185,3958543	174,9302	5,982760125
9	204,5595694	196,7965	3,944719249
10	222,6341991	218,6627	1,816267306
11	233,7763811	240,5291	2,807443647
12	256,2911284	262,3954	2,326363806
13	276,6695927	284,2616	2,670781875
AARD (%)			2,686456059

Berdasarkan nilai pada *Absolute Average Relative Deviation* (AARD) maka dapat dikatakan bahwa model matematika Motor DC dan parameter memiliki pendekatan yang baik terhadap sistem motor DC yang sebenarnya, hal ini dapat dilihat dari nilai AARD dari masing masing simulasi, pada simulasi yang pertama nilai AARD adalah 2,685279553 %, pada simulasi kedua nilai AARD adalah 2,687083739 %, selanjutnya pada simulasi yang ketiga nilai AARD adalah 2,682412877 %, dan simulasi keempat nilai AARD adalah 2,686456059 %. Berdasarkan pada nilai AARD tersebut maka nilai signifikansi  $<5\%$ , sehingga model matematika dengan hasil identifikasi nilai parameter memiliki selang kepercayaan  $>95\%$ . Dengan menggunakan metode AARD dapat kita lihat bahwa pada simulasi yang ketiga didapatkan nilai AARD paling kecil, sehingga parameter yang digunakan sebagai simulasi ketiga menunjukkan selang kepercayaan yang paling tinggi yaitu 97,317587123 %, dan memiliki nilai yang paling representatif terhadap kecepatan motor DC yang sebenarnya.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pendekatan model matematika dan parameter terhadap penggerak *prototype* panel surya memiliki nilai yang baik. Hal ini terbukti dari tingkat kepercayaan yang diperoleh model matematika dan parameternya dengan menggunakan *Absolute Average Relative Deviation* (AARD). Seluruh hasil percobaan simulasi memiliki nilai kepercayaan diatas 95%. Nilai parameter yang terbaik diperoleh pada simulasi ketiga dengan tingkat kepercayaan 97,317587123 % dengan nilai tahanan kumparan jangkar ( $R_a$ ) 18.2214 ohm, Induktansi kumparan jangkar ( $L_a$ ) 0.00866 Henry, konstanta emf balik ( $K_b$ ) 0.030941093 Volt-sec/rad, konstanta torsi ( $K_m$ ) 0.030941093 N-m/Ampere, Momen inersia rotor (J) 0.000090 Kg-m<sup>2</sup>, Koefisien gesekan Viskos (B) 0.000025. Sehingga dapat disimpulkan bahwa model matematika motor DC dengan parameter tersebut memiliki keluaran yang paling representatif terhadap penggerak *prototype* panel surya.

### 5.2 Saran

Pada tugas akhir ini telah dibahas model matematika beserta parameternya yang dapat merepresentasikan kondisi dari penggerak *prototype* panel surya. Saran yang pertama untuk memperoleh akurasi yang lebih baik dapat dibuat alat uji untuk memperoleh nilai momen inersia dan koefisien gesekan viskos. Selanjutnya, penelitian dapat dikembangkan dengan memberikan desain kontrol yang sesuai dengan sistem panel surya, sehingga diharapkan dengan adanya desain kontrol ini akan menambah pengetahuan dalam melakukan perbandingan desain kontrol yang terbaik pada *prototype* panel surya ini. Selain itu penelitian ini juga dapat dikembangkan dengan mengkorelasikan antara sistem penggerak panel surya dengan efisiensi pada *photovoltaic*.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abadi, I. 2016. **Kombinasi Dual Tracking Method Pada penjejak Matahari Dua Sumbu Dengan Kontrol Logika Fuzzy Berbasis Particle Swarm Optimization.** Surabaya. Jurusan Teknik Elektro. Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [2] Minto Rogo, D.S. 2000. **Strategi Aplikasi Sel Surya (*Photovoltaic Cells*) Pada Perumahan dan Bangunan Komersial.** Surabaya: Universitas Kristen Petra.
- [3] Kuo, C. B. 1998. **Teknik Kontrol Otomatik Jilid 1.** Jakarta: Prenhallindo
- [4] Subiono. 2013. **“Sistem Linear dan Kontrol Optimal”.** Jurusan Matematika. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [5] Iswanto, W. (2010). **“Perancangan dan Simulasi Sistem Kontrol Posisi pada Panel Surya dengan Menggunakan Metode Fuzzy Sliding Mode Control (FSMC)”**, Tugas Akhir Jurusan Matematika, FMIPA, Surabaya.
- [6] Efprianto, Y. (2015). **“Perancangan dan Simulasi Sistem Pengendali Panel Surya dengan Metode Type 2 Fuzzy Sliding Mode Control (T2FSMC)”**, Tugas Akhir Jurusan Matematika, FMIPA, Surabaya.
- [7] Choi, J. (2008). **“Control Systems : Lecture handout : Modelling of DC motor”.** University of British Columbia, British Columbia, Canada
- [8] Mardijah. ,dkk. (2015). **“On Designing Of The Driven System Control Of Solar Panels Using Type 2 Fuzzy Sliding Mode Control (T2FSMC)”**, AIP Yogyakarta.
- [9] Siahaan, M. S. (2016). **“Pemodelan Perpindahan Massa Pada Ekstraksi Lipid Kontinu Mikroalga *Clorella Vulgaris* Dengan Pelarut C<sub>2</sub>M (CO<sub>2</sub> – Expanded Methanol)”**, Tugas Akhir Jurusan Matematika, FMIPA, Surabaya.
- [10] Pittman. DC030B-3 (8224) Brush DC Motor, [online], <http://www.pittman-motors.com/Brush-DC->

[Motors/8224-Brush-DC-Motor.aspx](#), (diakses tanggal 3 Desember 2016)

- [11] Mardlijah, dkk. (2016). **Pengembangan Tipe 2 Fuzzy Sliding Mode Control (T2FSMC) Pada Kontrol Posisi Panel Surya Untuk Meningkatkan Effisiensi Sistem Panel Surya**. Laporan Kemajuan Penelitian. ITS Surabaya
- [12] Control Tutorial for Matlab and Simulink, [ctms.engin.umich.edu/CTMS/Index.php?example=MotorSpeed&section=SimulinkModeling](http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/Index.php?example=MotorSpeed&section=SimulinkModeling), (diakses tanggal 6 Desember 2016)



## LAMPIRAN

### LAMPIRAN A

#### Data Induktansi dan Resistensi Motor DC

Resistensi Motor DC	
1	17,26
2	17,47
3	17,55
4	18,75
5	19,26
6	18,32
7	18,06
8	18,62
9	18,67
10	18,63
11	18,46
12	18,38
13	18,45
14	18,01
15	18
16	18,26
17	18,87
18	18,54
19	18,7
20	18,6
21	18,16
22	18,38
23	18,41

Induktansi Motor DC	
1	0,009
2	0,008
3	0,008
4	0,001
5	0,011
6	0,009
7	0,009
8	0,009
9	0,008
10	0,01
11	0,011
12	0,01
13	0,009
14	0,009
15	0,008
16	0,011
17	0,009
18	0,01
19	0,009
20	0,009
21	0,009
22	0,008
23	0,009

Resistensi Motor DC	
24	18,22
25	18,6
26	18,41
27	18,74
28	18,47
29	18,69
30	18,18
31	17,95
32	18,27
33	19,21
34	18,53
35	17,33
36	17
37	18,04
38	18,78
39	17,4
40	19,68
41	19,5
42	18,07
43	17,82
44	18
45	17,3
46	17,5
47	17,18
48	17,81
49	17,32
50	17,26
Rata-rata	18,2214

Induktansi Motor DC	
24	0,008
25	0,008
26	0,009
27	0,009
28	0,008
29	0,008
30	0,008
31	0,009
32	0,009
33	0,009
34	0,008
35	0,008
36	0,009
37	0,008
38	0,008
39	0,009
40	0,009
41	0,009
42	0,009
43	0,009
44	0,008
45	0,008
46	0,008
47	0,008
48	0,009
49	0,009
50	0,009
Rata-Rata	0,00866

## LAMPIRAN B

### Konstanta Torsi dan Konstatnta EMF Balik

RPM		konversi RPM ke radian	
input CNC	aktual	input CNC	Aktual
200	179	20,943951	18,74483615
400	359	41,887902	37,59439205
600	540	62,831853	56,5486677
800	719	83,775804	75,29350385
1000	899	104,719755	94,14305975
1200	1079	125,663706	112,9926156
1400	1259	146,607657	131,8421715
1600	1439	167,551608	150,6917274
1800	1619	188,495559	169,5412833
2000	1799	209,43951	188,3908392
2200	1979	230,383461	207,2403951
2400	2159	251,327412	226,089951
2600	2339	272,271363	244,9395069
2800	2519	293,215314	263,7890628
3000	2699	314,159265	282,6386187

Voltase			
pengambilan data pertama		pengambilan data kedua	
MIN	MAX	MIN	MAX
0,583	0,591	0,575	0,591
1,171	1,174	1,164	1,175
1,758	1,76	1,744	1,759
2,344	2,344	2,343	2,343
2,928	2,93	2,912	2,93

Voltase			
Pengambilan data pertama		Pengambilan data kedua	
MIN	MAX	MIN	MAX
3,512	3,513	3,496	3,501
4,093	4,097	4,076	4,082
4,676	4,682	4,657	4,661
5,262	5,266	5,235	5,241
5,84	5,845	5,82	5,82
6,422	6,425	6,43	6,44
7	7,01	7,01	7,02
7,58	7,59	7,59	7,6
8,16	8,17	8,18	8,19
8,74	8,75	8,77	8,78

voltase/putaran(input CNC)		voltase/putaranRPM (aktual)	
pengambilan pertama			
MIN	MAX	MIN	MAX
0,0278362	0,028218171	0,031101899	0,031528683
0,027955566	0,028027186	0,031148263	0,031228062
0,027979439	0,02801127	0,031088266	0,031123633
0,027979439	0,027979439	0,031131504	0,031131504
0,02796034	0,027979439	0,031101602	0,031122847
0,027947608	0,027955566	0,031081677	0,031090527
0,027918051	0,027945334	0,031044695	0,031075034
0,027907819	0,027943629	0,031030237	0,031070053
0,027915777	0,027936998	0,031036689	0,031060282
0,027883946	0,027907819	0,030999384	0,031025925
0,027875265	0,027888287	0,030988167	0,031002643
0,027852115	0,027891904	0,030961128	0,031005359
0,027839872	0,0278766	0,030946417	0,030987243

Voltase/putaran (input CNC)		Voltase/putaran(aktual)	
Pengambilan pertama			
MIN	MAX	MIN	MAX
0,027829379	0,027863483	0,030933807	0,030971716
0,027820284	0,027852115	0,03092288	0,030958261
0,027900073	0,027951816	0,031034441	0,031092118

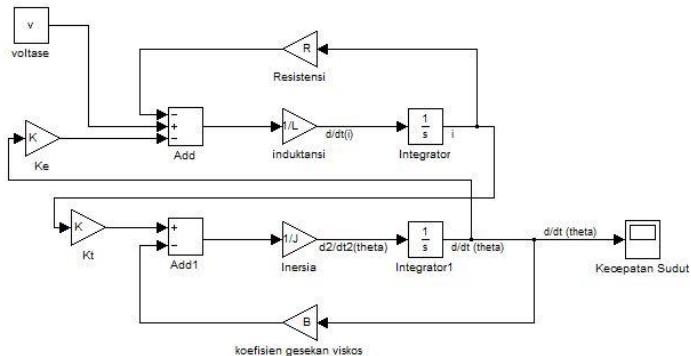
Voltase / putaran (input CNC)		voltase/putaran (aktual )	
Pengambilan kedua			
MIN	MAX	MIN	MAX
0,027454228	0,028218171	0,030675115	0,031528683
0,027788453	0,028051059	0,030962065	0,031254662
0,027756622	0,027995355	0,030840691	0,031105949
0,027967502	0,027967502	0,031118222	0,031118222
0,027807552	0,027979439	0,030931648	0,031122847
0,027820284	0,027860073	0,030940075	0,030984326
0,027802095	0,027843021	0,030915753	0,030961262
0,027794421	0,027818295	0,030904152	0,030930696
0,027772538	0,027804369	0,030877435	0,030912825
0,027788453	0,027788453	0,030893222	0,030893222
0,02790999	0,027953395	0,03102677	0,031075023
0,027891904	0,027931693	0,031005359	0,031049589
0,0278766	0,027913329	0,030987243	0,031028069
0,027897588	0,027931693	0,031009625	0,031047534
0,027915777	0,027947608	0,031029022	0,031064403
0,027816267	0,027933564	0,030941093	0,031071821

Keterangan : *cell* dengan warna blok kuning adalah rata-rata dari voltase/RPM yang digunakan sebagai nilai parameter

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## LAMPIRAN C

### Simulink dan Source code GUI



```
function varargout = GuiMotorDC(varargin)
% GUIMOTORDC M-file for GuiMotorDC.fig
%     GUIMOTORDC, by itself, creates a new
%     GUIMOTORDC or raises the existing
%     singleton*.
%
%     H = GUIMOTORDC returns the handle to a
%     new GUIMOTORDC or the handle to
%     the existing singleton*.
%
%
%     GUIMOTORDC('CALLBACK',hObject,eventData,handles,
%     ...) calls the local
%     function named CALLBACK in GUIMOTORDC.M
%     with the given input arguments.
%
%     GUIMOTORDC('Property','Value',...)
%     creates a new GUIMOTORDC or raises the
%     existing singleton*. Starting from the
%     left, property value pairs are
%     applied to the GUI before
%     GuiMotorDC_OpeningFcn gets called. An
```

```

% unrecognized property name or invalid
value makes property application
% stop. All inputs are passed to
GuiMotorDC_OpeningFcn via varargin.
%
% *See GUI Options on GUIDE's Tools menu.
Choose "GUI allows only one
instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to
help GuiMotorDC

% Last Modified by GUIDE v2.5 31-Dec-2016
21:34:25

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name', mfilename,
...
    'gui_Singleton',
gui_Singleton, ...
    'gui_OpeningFcn',
@GuiMotorDC_OpeningFcn, ...
    'gui_OutputFcn',
@GuiMotorDC_OutputFcn, ...
    'gui_LayoutFcn', [] , ...
    'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback =
str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] =
gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

```



```

% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before GuiMotorDC is made
visible.
function GuiMotorDC_OpeningFcn(hObject,
eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see
OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a
future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user
data (see GUIDATA)
% varargin    command line arguments to
GuiMotorDC (see VARARGIN)

% Choose default command line output for
GuiMotorDC
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes GuiMotorDC wait for user response
(see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to
the command line.
function varargout =
GuiMotorDC_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)
% varargout    cell array for returning output
args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a
future version of MATLAB

```

```

% handles      structure with handles and user
data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles
structure
varargout{1} = handles.output;

function editVoltaseinput_Callback(hObject,
eventdata, handles)
% hObject      handle to editVoltaseinput (see
GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a
future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user
data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents
of editVoltaseinput as text
%             str2double(get(hObject,'String'))
returns contents of editVoltaseinput as a double

% --- Executes during object creation, after
setting all properties.
function editVoltaseinput_CreateFcn(hObject,
eventdata, handles)
% hObject      handle to editVoltaseinput (see
GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a
future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until
after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white
background on Windows.
%             See ISPC and COMPUTER.

```

```

if ispc &&
isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function editresistensi_Callback(hObject,
 eventdata, handles)
% hObject    handle to editresistensi (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a
future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user
data (see GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents
of editresistensi as text
%          str2double(get(hObject,'String'))
returns contents of editresistensi as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after
setting all properties.
function editresistensi_CreateFcn(hObject,
 eventdata, handles)
% hObject    handle to editresistensi (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a
future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until
after all CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white
background on Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc &&
isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');

```

end

```
function editInduktansi_Callback(hObject,
 eventdata, handles)
% hObject      handle to editInduktansi (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a
future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user
data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents
of editInduktansi as text
%          str2double(get(hObject,'String'))
returns contents of editInduktansi as a double

% --- Executes during object creation, after
setting all properties.
function editInduktansi_CreateFcn(hObject,
 eventdata, handles)
% hObject      handle to editInduktansi (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a
future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until
after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white
background on Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc &&
isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```

function editKonstanta_Callback(hObject,
 eventdata, handles)
% hObject      handle to editKonstanta (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a
future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user
data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents
of editKonstanta as text
%          str2double(get(hObject,'String'))
returns contents of editKonstanta as a double

% --- Executes during object creation, after
setting all properties.
function editKonstanta_CreateFcn(hObject,
 eventdata, handles)
% hObject      handle to editKonstanta (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a
future version of MATLAB
% handles      empty - handles not created until
after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white
background on Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc &&
isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function editKonstantaTorsi_Callback(hObject,
 eventdata, handles)
% hObject      handle to editKonstantaTorsi (see
GCBO)

```

```

% eventdata reserved - to be defined in a
future version of MATLAB
% handles structure with handles and user
data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents
of editKonstantaTorsi as text
% str2double(get(hObject,'String'))
returns contents of editKonstantaTorsi as a
double

% --- Executes during object creation, after
setting all properties.
function editKonstantaTorsi_CreateFcn(hObject,
eventdata, handles)
% hObject handle to editKonstantaTorsi (see
GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a
future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until
after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white
background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc &&
isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function editMomenInersia_Callback(hObject,
eventdata, handles)
% hObject handle to editMomenInersia (see
GCBO)

```

```

% eventdata reserved - to be defined in a
future version of MATLAB
% handles structure with handles and user
data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents
of editMomenInersia as text
% str2double(get(hObject,'String'))
returns contents of editMomenInersia as a double

% --- Executes during object creation, after
setting all properties.
function editMomenInersia_CreateFcn(hObject,
eventdata, handles)
% hObject handle to editMomenInersia (see
GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a
future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until
after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white
background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc &&
isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function
editKoefisienGesekanViskos_Callback(hObject,
eventdata, handles)
% hObject handle to
editKoefisienGesekanViskos (see GCBO)

```

```

% eventdata reserved - to be defined in a
future version of MATLAB
% handles structure with handles and user
data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents
of editKoefisienGesekanViskos as text
% str2double(get(hObject,'String'))
returns contents of editKoefisienGesekanViskos
as a double

% --- Executes during object creation, after
setting all properties.
function editKoefisienGesekanViskos_CreateFcn(hObject,
eventdata, handles)
% hObject handle to
editKoefisienGesekanViskos (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a
future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until
after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white
background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc &&
isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in
pushbuttonMulai.
function pushbuttonMulai_Callback(hObject,
eventdata, handles)
% hObject handle to pushbuttonMulai (see
GCBO)

```



```

% eventdata reserved - to be defined in a
future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user
data (see GUIDATA)
v =
str2double(get(handles.editVoltaseinput,'String'
));
R=str2double(get(handles.editresistensi,'String'
));
L=str2double(get(handles.editInduktansi,'String'
));
K=str2double(get(handles.editKonstanta,'String')
);
J=str2double(get(handles.editMomenInersia,'Strin
g'))
B=str2double(get(handles.editKoefisienGesekanVis
kos,'String'))

assignin('base','v',v);
assignin('base','R',R);
assignin('base','L',L);
assignin('base','K',K);
assignin('base','J',J);
assignin('base','B',B);

y = sim('MOTORDCSEGA');
assignin('base','kecepatansudut',kecepatansudut)
;
axes(handles.axesGrafik)
plot(kecepatansudut(:,1),kecepatansudut(:,2))
title('Simulasi Motor Penggerak');
xlabel('Time');
grid on
ylabel('kecepatan sudut');

function editTime_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject      handle to editTime (see GCBO)

```

```

% eventdata reserved - to be defined in a
future version of MATLAB
% handles structure with handles and user
data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents
of editTime as text
% str2double(get(hObject,'String'))
returns contents of editTime as a double

% --- Executes during object creation, after
setting all properties.
function editTime_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles)
% hObject handle to editTime (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a
future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until
after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white
background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc &&
isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

## LAMPIRAN D

### Data hasil simulasi dengan simulink

Output kecepatan sudut simulasi pertama

#### 4 VOLT

38026	59.9810	87.5028
38027	59.9829	87.5028
38028	59.9846	87.5029
38029	59.9860	87.5028
38030	59.9873	87.5028
38031	59.9888	87.5028
38032	59.9907	87.5028
<b>38033</b>	59.9925	87.5029
38034	59.9941	87.5029
38035	59.9953	87.5028
38036	59.9967	87.5028
38037	59.9984	87.5028
38038	60	87.5028

#### 5 VOLT

38026	59.9809	109.3785
38027	59.9828	109.3786
38028	59.9845	109.3786
38029	59.9859	109.3786
38030	59.9872	109.3785
38031	59.9887	109.3785
38032	59.9905	109.3785
<b>38033</b>	59.9924	109.3786
38034	59.9939	109.3786
38035	59.9952	109.3785
38036	59.9965	109.3785
38037	59.9982	109.3785
38038	60	109.3785

## 6 VOLT

38026	59.9808	131.2542
38027	59.9826	131.2543
38028	59.9844	131.2543
38029	59.9858	131.2543
38030	59.9870	131.2542
38031	59.9885	131.2542
38032	59.9904	131.2543
<b>38033</b>	59.9922	131.2543
38034	59.9938	131.2543
38035	59.9951	131.2543
38036	59.9964	131.2542
38037	59.9981	131.2542
38038	60	131.2543

## 7 VOLT

<b>38026</b>	59.9805	153.1300
38027	59.9820	153.1299
38028	59.9838	153.1300
38029	59.9857	153.1300
38030	59.9872	153.1300
38031	59.9885	153.1300
38032	59.9899	153.1299
38033	59.9916	153.1300
38034	59.9935	153.1300
38035	59.9948	153.1300
38036	59.9962	153.1299
38037	59.9979	153.1300
38038	59.9998	153.1300
38039	60	153.1300

## 8 VOLT

<b>38026</b>	59.9806	175.0057
38027	59.9820	175.0057
38028	59.9834	175.0057
38029	59.9850	175.0057
38030	59.9869	175.0057
38031	59.9886	175.0057
38032	59.9900	175.0057
38033	59.9913	175.0057
38034	59.9928	175.0057
38035	59.9946	175.0057
38036	59.9965	175.0057
38037	59.9980	175.0057
38038	59.9993	175.0057
38039	60	175.0057

## 9 VOLT

<b>38026</b>	59.9790	196.8814
38027	59.9809	196.8814
38028	59.9826	196.8814
38029	59.9840	196.8814
38030	59.9853	196.8814
38031	59.9868	196.8814
38032	59.9886	196.8814
38033	59.9905	196.8814
38034	59.9920	196.8814
38035	59.9933	196.8814
38036	59.9947	196.8814
38037	59.9964	196.8814
38038	59.9983	196.8814
38039	60	196.8814

## 10 VOLT

<b>38026</b>	59.9802	218.7571
38027	59.9815	218.7571
38028	59.9829	218.7571
38029	59.9846	218.7571
38030	59.9865	218.7571
38031	59.9879	218.7571
38032	59.9892	218.7571
38033	59.9909	218.7571
38034	59.9928	218.7571
38035	59.9945	218.7572
38036	59.9959	218.7571
38037	59.9972	218.7571
38038	59.9987	218.7571
38039	60	218.7571

## 11 VOLT

<b>38027</b>	59.9801	240.6328
38028	59.9819	240.6329
38029	59.9835	240.6328
38030	59.9848	240.6328
38031	59.9861	240.6328
38032	59.9878	240.6328
38033	59.9897	240.6328
38034	59.9911	240.6328
38035	59.9925	240.6328
38036	59.9941	240.6328
38037	59.9960	240.6328
38038	59.9977	240.6329
38039	59.9991	240.6328
38040	60	240.6328

## 12 VOLT

<b>38027</b>	59.9814	262.5085
38028	59.9827	262.5085
38029	59.9841	262.5085
38030	59.9858	262.5085
38031	59.9877	262.5085
38032	59.9894	262.5086
38033	59.9908	262.5085
38034	59.9921	262.5085
38035	59.9936	262.5085
38036	59.9954	262.5085
38037	59.9972	262.5086
38038	59.9988	262.5086
38039	60	262.5085

## 13 VOLT

<b>38027</b>	59.9804	284.3842
38028	59.9821	284.3843
38029	59.9835	284.3842
38030	59.9848	284.3842
38031	59.9863	284.3842
38032	59.9882	284.3842
38033	59.9900	284.3843
38034	59.9916	284.3843
38035	59.9928	284.3842
38036	59.9942	284.3842
38037	59.9959	284.3842
38038	59.9978	284.3843
38039	59.9992	284.3842
38040	60	284.3842

## Output Data Simulasi Kedua

### 4 VOLT

<b>38025</b>	59.9794	87.4446
38026	59.9811	87.4446
38027	59.9830	87.4446
38028	59.9847	87.4446
38029	59.9861	87.4446
38030	59.9874	87.4446
38031	59.9889	87.4446
38032	59.9907	87.4446
38033	59.9926	87.4446
38034	59.9941	87.4446
38035	59.9954	87.4446
38036	59.9968	87.4446
38037	59.9984	87.4446
38038	60	87.4446

### 5 VOLT

<b>38025</b>	59.9793	109.3057
38026	59.9809	109.3057
38027	59.9828	109.3058
38028	59.9845	109.3058
38029	59.9859	109.3057
38030	59.9872	109.3057
38031	59.9887	109.3057
38032	59.9906	109.3057
38033	59.9924	109.3058
38034	59.9940	109.3058
38035	59.9952	109.3057
38036	59.9966	109.3057
38037	59.9983	109.3057
38038	60	109.3057



## 6 VOLT

38025	59.9792	131.1669
38026	59.9808	131.1669
38027	59.9827	131.1669
38028	59.9844	131.1669
38029	59.9858	131.1669
38030	59.9871	131.1669
38031	59.9886	131.1669
38032	59.9904	131.1669
38033	59.9923	131.1669
38034	59.9938	131.1669
38035	59.9951	131.1669
38036	59.9965	131.1669
38037	59.9982	131.1669
38038	60	131.1669

## 7 VOLT

38025	59.9793	153.0280
38026	59.9806	153.0280
38027	59.9821	153.0280
38028	59.9839	153.0280
38029	59.9857	153.0281
38030	59.9873	153.0281
38031	59.9886	153.0280
38032	59.9899	153.0280
38033	59.9916	153.0280
38034	59.9935	153.0281
38035	59.9949	153.0280
38036	59.9963	153.0280
38037	59.9979	153.0280
38038	60	153.0281

## 8 VOLT

38027	59.9820	174.8892
38028	59.9834	174.8892
38029	59.9851	174.8892
38030	59.9870	174.8892
38031	59.9887	174.8892
38032	59.9901	174.8892
38033	59.9914	174.8892
<b>38034</b>	59.9929	174.8892
38035	59.9947	174.8892
38036	59.9966	174.8892
38037	59.9981	174.8892
38038	59.9994	174.8892
38039	60	174.8892

## 9 VOLT

38027	59.9810	196.7504
38028	59.9827	196.7504
38029	59.9841	196.7503
38030	59.9854	196.7503
38031	59.9869	196.7503
38032	59.9887	196.7503
38033	59.9906	196.7504
<b>38034</b>	59.9921	196.7504
38035	59.9934	196.7503
38036	59.9948	196.7503
38037	59.9964	196.7503
38038	59.9983	196.7504
38039	60	196.7504

## 10 VOLT

38027	59.9816	218.6115
38028	59.9830	218.6115
38029	59.9846	218.6115
38030	59.9865	218.6115
38031	59.9879	218.6115
38032	59.9893	218.6115
38033	59.9910	218.6115
<b>38034</b>	59.9928	218.6115
38035	59.9946	218.6115
38036	59.9959	218.6115
38037	59.9972	218.6115
38038	59.9987	218.6115
38039	60	218.6115

## 11 VOLT

38027	59.9802	240.4726
38028	59.9820	240.4727
38029	59.9835	240.4727
38030	59.9848	240.4726
38031	59.9862	240.4726
38032	59.9879	240.4726
38033	59.9898	240.4727
<b>38034</b>	59.9912	240.4726
38035	59.9925	240.4726
38036	59.9942	240.4726
38037	59.9961	240.4727
38038	59.9978	240.4727
38039	59.9992	240.4726
38040	60	240.4726

## 12 VOLT

38027	59.9814	262.3338
38028	59.9828	262.3338
38029	59.9842	262.3338
38030	59.9858	262.3338
38031	59.9877	262.3338
38032	59.9894	262.3338
38033	59.9908	262.3338
<b>38034</b>	59.9921	262.3338
38035	59.9936	262.3338
38036	59.9954	262.3338
38037	59.9973	262.3338
38038	59.9988	262.3338
38039	60	262.3338
38040		

## 13 VOLT

38027	59.9805	284.1950
38028	59.9822	284.1950
38029	59.9836	284.1949
38030	59.9849	284.1949
38031	59.9864	284.1949
38032	59.9882	284.1949
38033	59.9901	284.1950
<b>38034</b>	59.9916	284.1950
38035	59.9929	284.1949
38036	59.9943	284.1949
38037	59.9959	284.1949
38038	59.9979	284.1950
38039	59.9992	284.1949
38040	60	284.1949

# Output Simulasi Ketiga

## 4 VOLT

38027	59.9828	87.5969
38028	59.9845	87.5969
38029	59.9859	87.5969
38030	59.9872	87.5968
38031	59.9887	87.5968
38032	59.9906	87.5969
38033	59.9924	87.5969
<b>38034</b>	59.9940	87.5969
38035	59.9952	87.5969
38036	59.9966	87.5968
38037	59.9983	87.5968
38038	60	87.5969

## 5 VOLT

38027	59.9827	109.4961
38028	59.9844	109.4961
38029	59.9858	109.4961
38030	59.9871	109.4961
38031	59.9886	109.4961
38032	59.9904	109.4961
38033	59.9923	109.4961
<b>38034</b>	59.9938	109.4961
38035	59.9951	109.4961
38036	59.9964	109.4961
38037	59.9981	109.4961
38038	60	109.4961

## 6 VOLT

38027	59.9825	131.3953
38028	59.9843	131.3953
38029	59.9857	131.3953
38030	59.9869	131.3953
38031	59.9884	131.3953
38032	59.9903	131.3953
38033	59.9921	131.3953
<b>38034</b>	59.9937	131.3953
38035	59.9950	131.3953
38036	59.9963	131.3953
38037	59.9980	131.3953
38038	60	131.3953

## 7 VOLT

38027	59.9819	153.2945
38028	59.9837	153.2945
38029	59.9856	153.2945
38030	59.9871	153.2945
38031	59.9884	153.2945
38032	59.9898	153.2945
38033	59.9915	153.2945
<b>38034</b>	59.9934	153.2945
38035	59.9947	153.2945
38036	59.9961	153.2945
38037	59.9978	153.2945
38038	59.9997	153.2945
38039	60	153.2945

## 8 VOLT

38027	59.9819	175.1937
38028	59.9833	175.1937
38029	59.9849	175.1937
38030	59.9868	175.1937
38031	59.9885	175.1938
38032	59.9899	175.1937
38033	59.9912	175.1937
<b>38034</b>	59.9927	175.1937
38035	59.9945	175.1937
38036	59.9964	175.1938
38037	59.9979	175.1937
38038	59.9992	175.1937
38039	60	175.1937

## 9 VOLT

38027	59.9808	197.0929
38028	59.9825	197.0930
38029	59.9839	197.0929
38030	59.9852	197.0929
38031	59.9867	197.0929
38032	59.9885	197.0929
38033	59.9904	197.0930
<b>38034</b>	59.9919	197.0930
38035	59.9932	197.0929
38036	59.9946	197.0929
38037	59.9963	197.0929
38038	59.9982	197.0929
38039	59.9995	197.0929
38040	60	197.0929



## 10 VOLT

38027	59.9814	218.9921
38028	59.9828	218.9921
38029	59.9845	218.9921
38030	59.9864	218.9922
38031	59.9878	218.9921
38032	59.9891	218.9921
38033	59.9908	218.9921
<b>38034</b>	59.9927	218.9922
38035	59.9944	218.9922
38036	59.9958	218.9922
38037	59.9971	218.9921
38038	59.9986	218.9921
38039	60	218.9921

## 11 VOLT

38027	59.9800	240.8913
38028	59.9818	240.8914
38029	59.9834	240.8914
38030	59.9847	240.8913
38031	59.9860	240.8913
38032	59.9877	240.8913
38033	59.9896	240.8914
<b>38034</b>	59.9910	240.8913
38035	59.9924	240.8913
38036	59.9940	240.8913
38037	59.9959	240.8914
38038	59.9976	240.8914
38039	59.9990	240.8914
38040	60	240.8913



## 12 VOLT

38027	59.9813	262.7906
38028	59.9826	262.7906
38029	59.9840	262.7905
38030	59.9857	262.7905
38031	59.9876	262.7906
38032	59.9893	262.7906
38033	59.9907	262.7906
<b>38034</b>	59.9919	262.7905
38035	59.9935	262.7905
38036	59.9953	262.7906
38037	59.9971	262.7906
38038	59.9987	262.7906
38039	60	262.7906
38040		

## 13 VOLT

38027	59.9803	284.6898
38028	59.9820	284.6899
38029	59.9834	284.6898
38030	59.9847	284.6898
38031	59.9862	284.6898
38032	59.9881	284.6898
38033	59.9899	284.6898
<b>38034</b>	59.9915	284.6898
38035	59.9927	284.6898
38036	59.9941	284.6898
38037	59.9958	284.6898
38038	59.9977	284.6898
38039	59.9991	284.6898
38040	60	284.6897

## Output Simulasi Keempat

### 4 VOLT

38027	59.9830	87.4651
38028	59.9847	87.4651
38029	59.9861	87.4651
38030	59.9874	87.4651
38031	59.9889	87.4651
38032	59.9907	87.4651
38033	59.9926	87.4651
<b>38034</b>	59.9941	87.4651
38035	59.9954	87.4651
38036	59.9967	87.4651
38037	59.9984	87.4651
38038	60	87.4651

### 5 VOLT

38027	59.9828	109.3314
38028	59.9845	109.3314
38029	59.9859	109.3314
38030	59.9872	109.3314
38031	59.9887	109.3314
38032	59.9905	109.3314
38033	59.9924	109.3314
<b>38034</b>	59.9939	109.3314
38035	59.9952	109.3314
38036	59.9966	109.3314
38037	59.9983	109.3314
38038	60	109.3314

## 6 VOLT

38027	59.9827	131.1977
38028	59.9844	131.1977
38029	59.9858	131.1977
38030	59.9871	131.1976
38031	59.9886	131.1976
38032	59.9904	131.1977
38033	59.9923	131.1977
38034	59.9938	131.1977
38035	59.9951	131.1976
38036	59.9965	131.1976
38037	59.9981	131.1976
38038	60	131.1977
38039		

## 7 VOLT

38027	59.9820	153.0639
38028	59.9839	153.0639
38029	59.9857	153.0640
38030	59.9873	153.0640
38031	59.9886	153.0639
38032	59.9899	153.0639
38033	59.9916	153.0639
38034	59.9935	153.0639
38035	59.9949	153.0639
38036	59.9963	153.0639
38037	59.9979	153.0639
38038	59.9998	153.0639
38039	60	153.0639

## 8 VOLT

38027	59.9820	174.9302
38028	59.9834	174.9302
38029	59.9851	174.9302
38030	59.9869	174.9302
38031	59.9887	174.9303
38032	59.9901	174.9302
38033	59.9913	174.9302
<b>38034</b>	59.9929	174.9302
38035	59.9947	174.9302
38036	59.9965	174.9302
38037	59.9981	174.9302
38038	59.9994	174.9302
38039	60	174.9302

## 9 VOLT

38027	59.9810	196.7965
38028	59.9827	196.7965
38029	59.9841	196.7965
38030	59.9854	196.7965
38031	59.9869	196.7965
38032	59.9887	196.7965
38033	59.9905	196.7965
<b>38034</b>	59.9921	196.7965
38035	59.9934	196.7965
38036	59.9947	196.7965
38037	59.9964	196.7965
38038	59.9983	196.7965
38039	60	196.7965

## 10 VOLT

38027	59.9816	218.6627
38028	59.9829	218.6627
38029	59.9846	218.6627
38030	59.9865	218.6628
38031	59.9879	218.6627
38032	59.9893	218.6627
38033	59.9909	218.6627
<b>38034</b>	59.9928	218.6628
38035	59.9945	218.6628
38036	59.9959	218.6628
38037	59.9972	218.6627
38038	59.9987	218.6627
38039	60	218.6627

## 11 VOLT

38027	59.9801	240.5290
38028	59.9820	240.5291
38029	59.9835	240.5291
38030	59.9848	240.5290
38031	59.9862	240.5290
38032	59.9879	240.5290
38033	59.9898	240.5291
<b>38034</b>	59.9911	240.5290
38035	59.9925	240.5290
38036	59.9942	240.5290
38037	59.9961	240.5291
38038	59.9978	240.5291
38039	59.9992	240.5290
38040	60	240.5290

## 12 VOLT

38027	59.9814	262.3953
38028	59.9828	262.3953
38029	59.9841	262.3953
38030	59.9858	262.3953
38031	59.9877	262.3953
38032	59.9894	262.3954
38033	59.9908	262.3953
<b>38034</b>	59.9921	262.3953
38035	59.9936	262.3953
38036	59.9954	262.3953
38037	59.9973	262.3954
38038	59.9988	262.3954
38039	60	262.3953

## 13 VOLT

38027	59.9805	284.2616
38028	59.9822	284.2617
38029	59.9836	284.2616
38030	59.9849	284.2616
38031	59.9864	284.2616
38032	59.9882	284.2616
38033	59.9901	284.2617
<b>38034</b>	59.9916	284.2616
38035	59.9929	284.2616
38036	59.9942	284.2616
38037	59.9959	284.2616
38038	59.9978	284.2616
38039	59.9992	284.2616
38040	60	284.2615

## LAMPIRAN E

### *Absolute Average Relative Deviation (AARD)*

Voltase	Kecepatan sudut real
4	87,19804559
5	107,0864215
6	131,6746199
7	160,0955614
8	185,3958543
9	204,5595694
10	222,6341991
11	233,7763811
12	256,2911284
13	276,6695927

kecepatan sudut			
Simulasi 1	Simulasi 2	Simulasi 3	Simulasi 4
87,5028	87,4446	87,5969	87,4651
109,3786	109,3058	109,4961	109,3314
131,2542	131,1669	131,3953	131,1976
153,13	153,028	153,2945	153,0639
175,0057	174,8892	175,1937	174,9302
196,8814	196,7503	197,0929	196,7965
218,7571	218,6115	218,9921	218,6627
240,6328	240,4727	240,8914	240,5291
262,5085	262,3338	262,7906	262,3954
284,3842	284,195	284,6898	284,2616

Perhitungan - Eksperimen			
Simulasi 1	Simulasi 2	Simulasi 3	Simulasi 4
0,304754407	0,246554407	0,398854407	0,267054407
2,292178537	2,219378537	2,409678537	2,244978537
0,420419937	0,507719937	0,279319937	0,477019937
6,965561444	7,067561444	6,801061444	7,031661444
10,39015425	10,50665425	10,20215425	10,46565425
7,678169417	7,809269417	7,466669417	7,763069417
3,87709913	4,02269913	3,64209913	3,97149913
6,856418938	6,696318938	7,115018938	6,752718938
6,217371613	6,042671613	6,499471613	6,104271613
7,71460729	7,52540729	8,02020729	7,59200729

(PERHITUNGAN-EKSPERIMEN)/PERHITUNGAN			
Simulasi 1	Simulasi 2	Simulasi 3	Simulasi 4
0,003482796	0,00281955	0,004553294	0,003053268
0,020956371	0,020304307	0,02200698	0,020533703
0,003203097	0,003870793	0,002125799	0,003635889
0,045487896	0,04618476	0,044365985	0,045939385
0,059370376	0,060076061	0,058233568	0,059827601
0,038998958	0,039691271	0,03788401	0,039447192
0,017723306	0,018401132	0,01663119	0,018162673
0,028493285	0,027846483	0,02953621	0,028074436
0,023684458	0,023034285	0,024732512	0,023263638
0,027127412	0,026479731	0,028171741	0,026707819



ARD(%)			
Simulasi 1	Simulasi 2	Simulasi 3	Simulasi 4
0,348279605	0,281954982	0,455329363	0,305326818
2,095637115	2,030430715	2,20069805	2,053370337
0,320309702	0,387079314	0,212579854	0,36358892
4,548789554	4,618475994	4,436598472	4,593938508
5,937037623	6,007606103	5,823356806	5,982760125
3,899895783	3,96912707	3,788401011	3,944719249
1,772330649	1,840113228	1,663118957	1,816267306
2,849328495	2,784648294	2,953620984	2,807443647
2,368445827	2,303428538	2,473251179	2,326363806
2,712741175	2,647973149	2,817174093	2,670781875
2,685279553	2,687083739	2,682412877	2,686456059

Keterangan : Pada kolom terbawah menunjukan AARD, *cell* warna kuning adalah AARD yang bernilai paling kecil

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## LAMPIRAN F

### Data Kecepatan Sudut Eksperimen

Voltage	RPM					Rata Rata RPM
	1	2	3	4	5	
4	809,5	853,6	835,5	837,9	826,9	832,68
5	1019	1015	1031	1010	1038	1022,6
6	1270	1257	1235	1215	1310	1257,4
7	1568	1509	1554	1506	1507	1528,8
8	1769	1789	1750	1767	1777	1770,4
9	1960	1935	1956	1939	1977	1953,4
10	2147	2115	2116	2111	2141	2126
11	2222	2276	2225	2229	2210	2232,4
12	2435	2453	2469	2450	2430	2447,4
13	2688	2659	2612	2627	2624	2642

Konversi RPM to Radian/second					Rata-rata
1	2	3	4	5	rad/sec
84,77064167	89,38878287	87,4933553	87,74468271	86,59276541	87,19804559
106,7094303	106,2905513	107,9660674	105,7669526	108,6991057	107,0864215
132,9940889	131,632732	129,3288974	127,2345023	137,1828791	131,6746199
164,2005758	158,0221103	162,7344993	157,707951	157,8126708	160,0955614
185,2492466	187,3436417	183,2595713	185,0398071	186,0870046	185,3958543
205,2507198	202,6327259	204,8318408	203,0516049	207,0309556	204,5595694
224,833314	221,4822818	221,5870016	221,0634028	224,2049955	222,6341991
232,6872956	238,3421624	233,0014549	233,4203339	231,4306586	233,7763811
254,9926034	256,877559	258,5530751	256,5633998	254,4690047	256,2911284
281,4867014	278,4498285	273,5280001	275,0987964	274,7846371	276,6695927

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Segabagus Prandita, Saya lahir di Trenggalek 14 Juli 1995. Riwayat Pendidikan saya dimulai dari SDN Kampung Dalem 1 Tulungagung, SMPN 1 Tulungagung, dan SMA Negeri 1 Boyolangu. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan di S1 Matematika ITS dengan NRP 1212 100 014. Di Jurusan Matematika ITS, penulis mengambil bidang minat Matematika Terapan yang terdiri atas Pemodelan Matematika dan Riset Operasi dan Pengolahan Data (ROPD).

Selama kuliah penulis juga mengikuti kegiatan organisasi yaitu aktif di Himpunan Mahasiswa Matematika ITS (HIMATIKA ITS). Pada tahun periode 2014 – 2015 penulis menjabat sebagai Ketua divisi kajian strategis Departemen Dalam Negeri HIMATIKA ITS. Selain itu saya juga mengikuti organisasi di BEM ITS sebagai Dirjen Politik Kebangsaan Kementrian Kaderisasi Kebangsaan. Selain aktif dalam organisasi, penulis aktif mengikuti kepanitiaan berbagai acara, seperti GERIGI ITS, OMITS, Tim Ad Hoc PPSDM HIMATIKA ITS, serta kepanitiaan lainnya.

Untuk informasi lebih lanjut dan jika ingin memberikan saran Tugas Akhir ini bisa ditujukan ke penulis melalui email [segabagus56@gmail.com](mailto:segabagus56@gmail.com).